

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky



Polosuchá metoda čištění spalin u spalovny průmyslových odpadů

Semi-dry Method for Cleaning Combustion Gases
in Incineration Plant

Student:

Lukáš Šubrt

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Šubrt**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3907R009 Provoz energetických zařízení**
Téma: **Polosuchá metoda čištění spalin u spalovny průmyslových odpadů**
Semi-dry Method for Cleaning Combustion Gases in Incineration Plant
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh polosuchého čištění spalin. Popište hlavní části a jejich funkci: reaktor, přípravu sorbentu, tkaninový filtr a spalinový ventilátor. Proveďte rešerši výrobců a specifikujte podmínky pro provoz a konstrukci zařízení. Jmenovitý výkon spalovny 400 kg/hod, střední výhřevnost odpadu 18 MJ/kg, stabilizační palivo je zemní plyn. Proveďte kontrolní výpočet doby setrvání spalin v reaktoru a navrhnete základní rozměry. Ověřte zvolenou koncepci s ohledem na platnou legislativu a emisní limity.

Seznam doporučené odborné literatury:

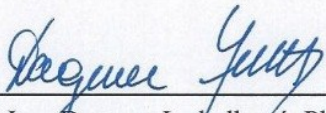
Rédr, M., Příhoda, M.: Základy tepelné techniky. Praha. SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0.
Sadik Kakac: Boilers, evaporators, condensers. John Wiley. USA. New York 1991. CIP 90-22486 v knihovně VŠB.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

10. 5. 2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 10. 5. 2016

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Šubrt

Adresa trvalého bydliště:

Příční 393/13, Svatobořice-Mistřín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠUBRT, L. *Polosuchá metoda čištění spalin u spalovny průmyslových odpadů*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, 53 s, Vedoucí práce: Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem polosuché pračky spalin u spalovny průmyslových odpadů. V úvodu jsou popsány škodliviny v odpadním plynu a metody jejich odstranění z něj. Na základě zadaných hodnot, jsem navrhl pračku spalin typu PV 20, aby po umístění do spalovny minimalizovalo vypouštěné množství SO_2 , HCl a HF. Čištění spalin je zajištěno dvoustupňovým rozprašovacím absorbérem metodou polosuché vápenné vypírky a tkaninovým filtrem. Sorbent se připravuje v míchací nádrži. Podtlak v celém systému zajišťuje spalinový ventilátor.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠUBRT, L. *Semi-dry flue gas cleaning method for industrial waste incinerator*: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energetics, 2016, 53 p., Supervisor: Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

The bachelor thesis deals with the design of semi-dry flue gas washer for the incinerator of industrial waste. The introduction describes the pollutants in the waste gas and the methods of removing them from it. Based on the given values, I designed the flue gas washing machine of type PV20 in order to minimize the amount of released SO_2 , HCl and HF after its placement into the incinerator. Flue gas cleaning is provided by a two-spray absorber using semi-dry lime scrubber and fabric filter. The sorbent is prepared in the mixing tank. Negative pressure throughout the system is regulated by flue gas ventilator.

Seznam použitých symbolů

<u>Symbol</u>	<u>Název</u>	<u>Jednotka</u>
C_p	Měrná tepelná kapacita	[J/(kg*K)]
Cl	Chlór v odpadu	[%]
H	Vodík v odpadu	[%]
H_2O	Voda v odpadu	[%]
$H_{u,o}$	Výhřevnost odpadu	[MJ/kg]
$H_{u,p}$	Výhřevnost stabilizačního odpadu	[MJ/kg]
m_o	Jmenovitý výkon spalovny	[kg/h]
n	Přebytek vzduchu	[-]
$N_{k,o}$	Tepelný výkon z odpadu	[MJ/h]
Nu	Nusseltovo kritérium	[-]
Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
S	Síra v odpadu	[%]
V_{sp}	Objem spalin	[Nm ³ /s, Nm ³ /Nm ³ , Nm ³ /kg]
V_{vz}	Objem vzduchu	[Nm ³ /s, Nm ³ /Nm ³ , Nm ³ /kg]
V_{H_2O}	Objem vody	[Nm ³ /kg]
w	Rychlost	[m/s]
α	Součinitel přestupu tepla	[W/(m ² *K)]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/(m*K)]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
τ	Čas	[s]
φ	Součinitel poměrného zvětšení objemu	[-]

<u>Dolní indexy</u>	<u>Název</u>
<i>celk.</i>	Celkový
<i>o</i>	Odpad
<i>p</i>	Palivo
<i>sk</i>	Skutečné
<i>sp</i>	Spaliny
<i>vz</i>	Vzduch
H_2O	Voda, vodní pára

Seznam použitých zkratek

<u>Zkratka</u>	<u>Název</u>
Ag	Stříbro
Ar	Argon
As	Arsen
CaO	Oxid vápenatý
Ca(OH) ₂	Hydroxid vápenatý
Cl	Chlor
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
Cu	Měď
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
H ₂ O	Voda
HCl	Kyselina chlorovodíková
HF	Fluorovodík
Hg	Rtuť
Kr	Krypton
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
N ₂ O	Oxid dusný
N	Dusík
Ni	Nikl
NO	Oxid dusnatý
NO _x	Oxid dusíku
NO ₂	Oxid dusičitý
Pb	Olovo
PCDD	Polychlorované dibenzodioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
Sb	Antimon
Se	Selen
SO _x	Oxidy síry
SO ₂	Oxid siřičitý
SO ₃	Oxid sírový

<u>Zkratka</u>	<u>Název</u>
<i>TK</i>	<i>Těžké kovy</i>
<i>TZL</i>	<i>Tuhé znečišťující látky</i>
<i>TEQ</i>	<i>Ekvivalent toxicity</i>
<i>Ti</i>	<i>Titan</i>
<i>VŠB-TUO</i>	<i>Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava</i>
<i>Zn</i>	<i>Zinek</i>
<i>Xe</i>	<i>Xenon</i>

Obsah

Seznam použitých symbolů

Seznam použitých zkratek

1. Úvod	1
2. Důvody čištění spalin	2
3. Rozdělení problematiky, vznik a složení spalin	2
3.1 Spalovny (termické zařízení)	2
3.2 Průmyslové odpady	4
3.3 Obecné složení spalin	6
3.4 Škodlivé látky ve spalinách	7
3.4.1 Tuhé znečišťující látky (TZL)	7
3.4.2 Těžké kovy (TK)	8
3.4.3 Fluorovodík (HF)	8
3.4.4 Chlorovodík (HCl)	9
3.4.5 Dioxidy a furany (PCDD a PCDF)	9
3.4.6 Oxidy dusíku (NO _x)	10
3.4.7 Oxidy uhlíku (CO a CO ₂)	11
3.4.8 Oxidy síry (SO _x)	12
4. Metody čištění spalin	13
4.1 Odloučení tuhých částic	13
4.2 Venturiho pračka	15
4.3 Denifitrikace spalin	16
4.4 Katalyticko-filtrační systém Remedia	16
4.5 Čištění kyselých složek oxidů síry, HCl a HF	17
4.5.1 Suchá metoda odsiřování spalin	18
4.5.2 Mokrý metoda odsiřování spalin	18
4.5.3 Polosuchá metoda odsiřování spalin	19

5. Návrh polosuchého čištění spalin	21
5.1 Popis zařízení	21
5.2 Popis uspořádání zařízení polosuché pračky spalin a jeho hlavní části	23
5.3 Kontrolní výpočet doby setrvání spalin v reaktoru	25
5.4 Metoda určení doby setrvání reakční komory	28
6. Příprava sorbentu pro palivo a jeho množství	32
7. Popis kompresoru a čerpadla	32
8. Spalinový ventilátor	34
9. Ověření zvolené koncepce	35
10. Legislativa a emisní limity v České republice	37
10.1 Emisní limity pro spalovny průmyslových odpadů	37
10.2 Kontinuální měření	38
10.3 Jednorázová měření	38
11. Závěr	39
12. Seznam použité literatury	41
13. Seznam obrázků a tabulek	42
13.1 Seznam obrázků	42
13.2 Seznam tabulek	43
14. Seznam příloh	43

1. Úvod

Lidská populace nezadržitelně roste a s ní rostou určité problémy, jako rostoucí produkce odpadů. I když hlavní prioritou odpadového hospodářství je zamezení vzniku, nebo alespoň částečná minimalizace tvorby odpadů, přesto je mnoho oborů lidské činnosti, kde se nedá omezit tvorba odpadů a v budoucnu to ani nebude možné. Proto je potřeba zajistit dnes i v budoucnu zpracování odpadů, které bude šetrné k životnímu prostředí ale také, aby bylo ekologické a ekonomicky výhodné. Mezi nejlepší alternativy patří bezpochyby termické zpracování odpadů ve spalovnách. V těchto zařízeních nejenže snižujeme objem vyprodukovaného odpadu, ale také vzniká teplo, které lze dále využívat např. k vytápění budov. Tato metoda má své výhody, ale také má své nevýhody. Při termickém zpracování odpadů vznikají znečišťující látky ve formě odpadního plynu a odpadní vody. Tyto látky se nesmějí vypouštět do vnějšího prostředí. Nežádoucí vlivy je potřeba minimalizovat, proto jsou pro spalování odpadů a provoz spaloven odpadů stanoveny legislativní předpisy, které určují emisní limity a další podmínky nutné pro provozování termických zařízení, která jsou zdroji znečištění. Pro splnění těchto limitů je třeba velkých počátečních investic do čištění odpadních plynů a odpadních vod, bez kterých bychom nemohli provozovat spalovny odpadů, zařízení čištění spalin je investiční náklad ve výši zhruba od 30 do 50% ceny celé spalovny.

V bakalářské práci se zabývám čištěním odpadního plynu ze spalovny na průmyslové odpady. Přesněji odsiřování polosuchou metodou. V teoretické části se můžeme dočíst, co jsou spalovny, o jaké zařízení se jedná a k čemu se využívá, co je to průmyslový odpad, kde vzniká a z čeho se skládá. Dále se zde nachází, obsah všech znečišťujících látek vznikají při termickém zpracování odpadů a metody jejich odstranění z kouřových plynů.

V praktické části nalezneme návrh pračky spalin na polosuchou metodu čištění. Zde můžeme vidět volbu zařízení, dále stručný popis tohoto zařízení. Také zde nalezneme umístění v čistící soustavě, a kde se samotná pračka nachází v soustavě při procesu čištění. Dále se dočteme o přípravě sorbentu a návrhu kompresoru pro vstřikování sorbentu. V jedné z posledních kapitol se dočteme o legislativě upravující čištění spalin a emisní limity a specifické emisní limity pro spalovny průmyslových odpadů.

2. Důvody čištění spalin

Proč čistit spaliny? Mnoho látek, které vznikají při spalování, jsou toxické nebo zdraví nebezpečné, proto je potřeba tyto látky úplně nebo alespoň částečně odstraňovat při výstupu z kotle (spalovací komory). Čištění spalin podléhá zákonu o ovzduší, kde je přesně dáno kolik, kterých látek je dovoleno vypustit do ovzduší.

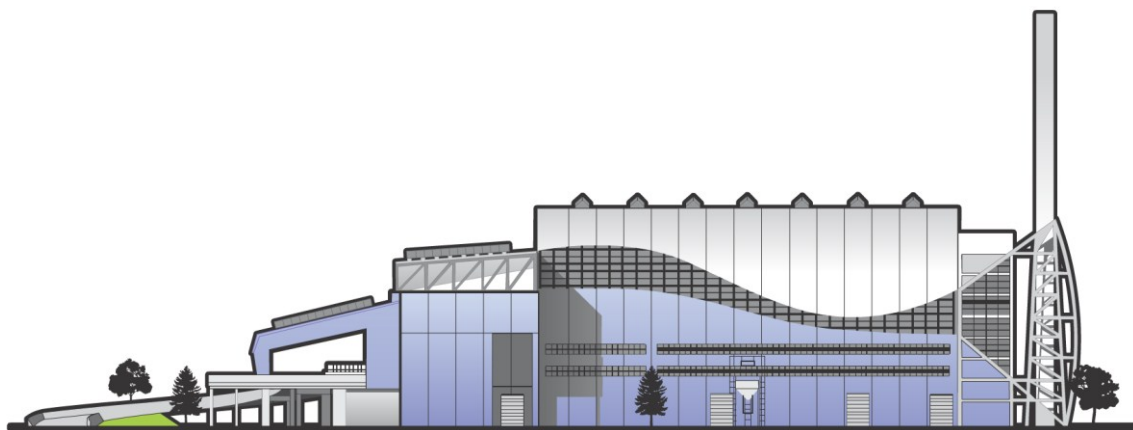
3. Rozdělení problematiky, vznik a složení spalin

Problematicku jsem rozdělil následovně do kapitol na spalovny, průmyslové odpady a vzniklý odpadní plyn a jeho složení.

3.1 Spalovny (termické zařízení)

Termické (tepelné) metody využití odpadů můžeme nazývat technologie, při kterých dochází k vlivu na odpadní látku teplotou, která přesahuje její chemickou stabilitu. Pod názvem termické zpracování odpadů si můžeme představit např. plasmové metody, spalování, pyrolýzu, zplyňování, atd. Spalování je bráno jako ekologicky bezpečná technologie, která využívá odpad jako palivo. Palivo obecně je každá látka, která lze využít ke spálení za účelem získání energie tepelné. [1, 3, 11]

Těmito postupy jsou nebezpečné látky, které byly původně obsaženy v hořlavých odpadech přeměny na neškodný produkt. Musíme mít na paměti, že termické využití není konečný způsob odstranění odpadu, protože při spalování odpadů vznikají vedlejší produkty jako popel a plynné látky, které obsahují pevné částice a škodlivé plyny.

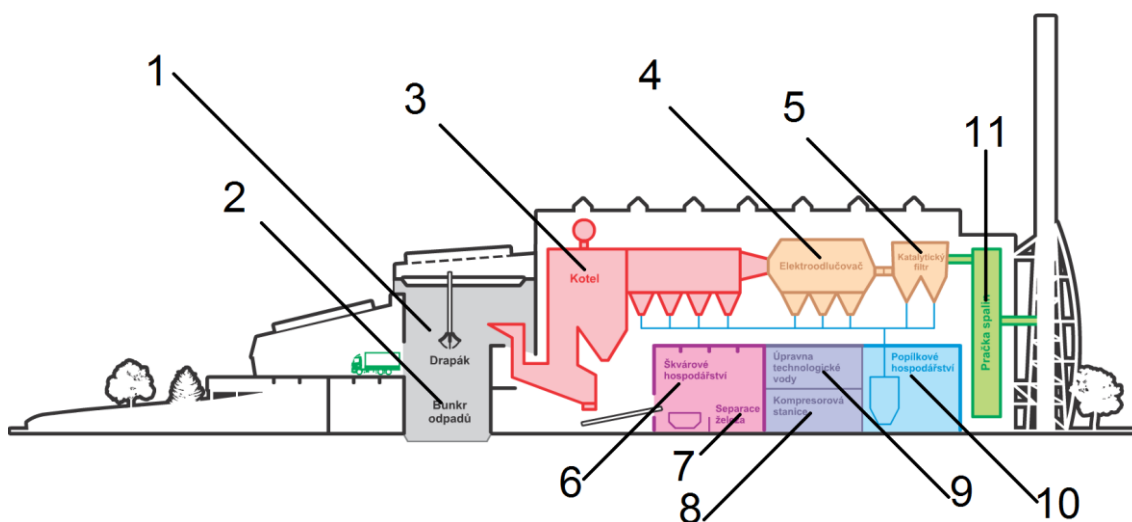


Obrázek 3.1 – vzhled spalovny z vnějšku [4]

Spalovny z vnějšku mohou vypadat jako malé továrny a nijak nezasahují do krajiny či městské aglomerace (viz obrázek 3.1) [1]

Teploty při zpracování se pohybují v širokých mezích, nejčastější je v mezi 300 °C a 1500 °C, ale také může být tato teplota mnohonásobně vyšší. Teplota se určuje dle spalovaného materiálu. Například u plasmových metod jsou teploty v řádech tisíců, obvyklá teplota u této metody se pohybuje v mezích od 6 000 °C do 12 000 °C. [1]

Termické využívání odpadu má mnoho příznivých výhod při hospodaření s odpady, ale také má stinné stránky jako vznik škodlivých plynů a látek, které mají negativní vliv na životní prostředí. Proto je třeba klást velký důraz na čištění spalin, které vycházejí ze spalovací komory. Díky tomu se spalovna skládá z mnoho zařízení, aby se docílilo co nejmenšího znečištění okolí (obrázek 3.2). Mezi nejvíce problémové termické zařízení patří spalovny komunálních odpadů, protože zde se spaluje mnoho různých druhů odpadů. Především je třeba dbát na čištění spalin u spaloven komunálních odpadů, navržených pro plně automatický řízený provoz, kde jsou vysoké nároky na ekologické standardy, díky nim se mohou spalovny vystavovat ve městech a hustě obydlených oblastech, kde je centrum produktivity odpadů a odpadá tak problémy spojené s dopravou. Termické využívání odpadů lze aplikovat na mnoho druhů odpadů např. komunální, zemědělské a průmyslové odpady, které se mohou vyskytovat ve všech fyzikálních konzistencích, rozuměno skupenství kapalné, tuhé a plynné. [1]



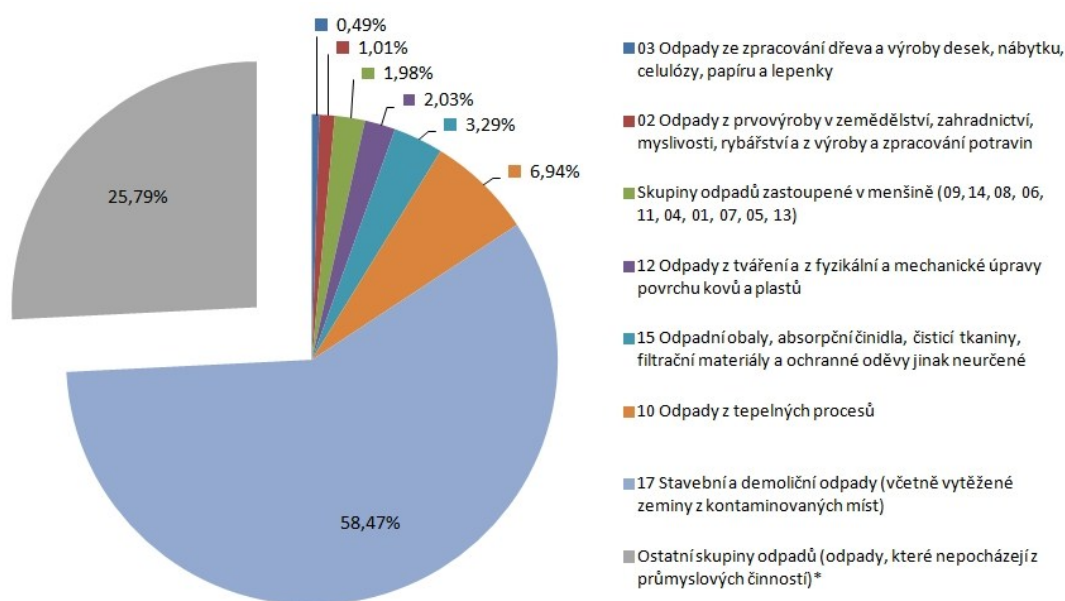
Obrázek 3.2 – schéma spalovny (1. Drapák, 2. Bunkr odpadů, 3. Kotel, 4. Elektroodlučovač, 5. Katalytický filtr, 6. Škvárové hospodářství, 7. Separace železa, 8. Kompresorová stanice, 9. Úprava technologické vody, 10. Popílkové hospodářství, 11. Pračka spalin) [4]

Mezi hlavní výhodu termického zpracování odpadů můžeme zařadit snížení objemu odpadu na cca 10 % až 15 % z původního objemu (což odpovídá snížení hmotnosti na 20 % až 40 % z původní hmotnosti), pokud tohle porovnáme s jinými metodami zpracování odpadů jako je skládkování nebo kompostování je snížení mnohem výraznější. Ulehčení energetice využívají fosilní paliva. Snižování skládkové plynu, který by vnikl při skládkování odpadu. [1, 2]

3.2 Průmyslové odpady

Průmyslové odpady nelze přesně definovat. Obecně můžeme říct, že se jedná odpad vznikající v průmyslových činnostech, jako jsou výrobní procesy (strojírenství), ale také i nevýrobní procesy (stavebnictví). Jeho složení je různorodé (obrázek 3.3). Průmyslové odpady jsou charakteristické díky vysokému podílu nebezpečných látek. Ve všech odvětvích průmyslu vznikají hořlavé odpadní materiály, které lze termickými metodami využít pro výrobu tepelné energie. [1, 5]

Odpady, které vznikají při výrobních procesech, představují širokou škálu materiálů. Proto je nemožné udělat analýzu a brát její průměr a veškerý odpad spalovat při stejných podmínkách. Odpady se liší podle průmyslového odvětví a je proto třeba s každým průmyslovým (nebezpečným) odpadem zacházet jinak. Musíme brát na vědomí jejich fyzikální a chemické vlastnosti. Každý materiál je specifický, a proto musí být i uzpůsoben typ pece a termické podmínky na daný odpad. [1]



Obrázek 3.3 – graf zobrazující podíl jednotlivých druhů průmyslového odpadu [5]

Na ukázkou průmyslových odpadů si můžeme vzít, odpady vznikající při průmyslu papírenském, gumárenském, potravinářském, dřevařském, textilním, kožedělném, ale také se zde nachází petrochemický a chemický průmysl. [1]

Většina z těchto odpadů má mnohonásobně vyšší výhřevnost jako domácí odpady, (pro příklad domovní odpady mívají výhřevnost v rozmezí 4 200 až 10 000 kJ/kg), když se podíváme na tabulku 3.1, můžeme vidět, že jednotlivé látky potřebují specificky upravit spalovací komoru a technologii spalování. [1, 17]

Tabulka 3.1 - průmyslové hořlavé odpady a charakteristiky [1]

Druh odpadů	Výhřevnost	Voda	Popel	Prchavá hořlavina	Síra
	MJ/kg	%	%	%	%
Drť po výrobě papíru	3,4	65,8	4,68	-	-
Dřevný papír	14,6 – 16,3	10 – 20	0,5 – 0,8	70 – 75	-
Rašelina suchá	12,5 – 21	6 – 25	8 – 12	50 – 60	-
Papírový odpad	14,6	8	0,6	70	-
Tříslo (lisované)	5 – 6,5	56 – 63	1,5 – 4	28 – 36	-
PVC odpad	18,8	-	0,5	49 (chlór)	-
Tabákový prach	12,6	5	40	45	-
Kožené odřezky	18,3	14	5	58	-
Polyetylenové odpady	41,8	-	-	-	-
Staré pneumatiky	36,2	-	6,5	-	1,2
Pryskyřicové odpady	16,6	-	-	-	12 – 20
Pryžové odpady	13,4	0	63	36	-

3.3 Obecné složení spalin

Obecné složení spalin z ohnišť kotlů obsahuje plyny a páry vzniklé při nedokonalém i dokonalém spalování odpadu, také sem můžeme zařadit složky vlhkého spalovacího vzduchu, které jsou přítomny pasivně při spalování. Dále sem můžeme zařadit vlhký přebytný atmosférický vzduch přivedený do kotle v množství nad teoretickou potřebu pro daný případ spalování a tuhé zbytky po stolování paliv. Složení plynných složek závisí na složení hořlaviny paliva, ale může také záviset na složení popeloviny, dále na teplotě hoření a dokonalosti spalovacího průběhu. Z fosilních paliv budou spaliny tedy převážně obsahovat vodní páry, plynné složky a složky tuhé (tuhé znečišťující látky, atd.) [1, 6]

Plynná část spalin je tvořena kyslíčkem uhličitým, který vzniká při spálení uhlíku, popř. přivedeným spalovacím vzduchem a rozkladem uhličitánů z popelovin. Další látka, která se nachází v plynné části je kyslíčnky síry SO_2 a SO_3 vzniklé při spalování síry nacházející se v palivu (nejčastěji se nachází v biomase) a rozkladem síranů v popelovinách, dusík ze spalovacího vzduchu, dusík z paliva, který se uvolní po spálení hořlaviny (za vysokých teplot oxiduje na kyslíčnky dusíku NO_x). Při nedokonalém spalování mohou vznikat látky kyslíčnick uhelnatý, uhlovodík a vodík. Ve spalinách jsou také obsaženy vzácné plyny Ar, Xe, Kr. Vodní para obsažená ve spalinách vzniká díky odpařování vody z paliva, nebo spálením vodíku a uhlovodíku, ale také z vlhkosti spalovacího vzduchu a u ofukovačů z technické páry. [1, 6]

Tuhé složky spalin nalezneme především ve spalinách z tuhých paliv a podle teploty mohou být ve třech fázích:

- Ve fázi kapalné jako tekutá struska.
- Ve fázi tuhé jako aerosol, popelavý prach nebo škvárová zrna.
- Ve fázi par zejména sloučeniny sodíku, fosforu a draslíku. Ty při ochlazování na výhřevných plochách kondenzují. Tuhé složky poté tvoří nánosy na výhřevných plochách, přičemž se snižuje přestup tepla. Koncentrace popílku ve spalinách se mění při toku kotlem a především bude záviset na popelnatosti paliva, na účinnosti zachycení popelovin v ohništi. [6]

Problém produktů spaloven (termických zařízení) vyplývá zřetelně z bilančních hodnot vnikajících ve spalovně směsných komunálních odpadů. Na každou tunu spálených odpadů

- 6 000 m³/t spalin
- 0,25 až 0,4 t/t pevných zbytků
- několik m³/t odpadní vody

které je nutno odvést do ovzduší, vodních toků, stok nebo do půdy či skládky. [1]

3.4 Škodlivé látky ve spalinách

Škodlivé látky můžeme rozdělit na více druhů, v podkapitolách je nalezneme rozstřížené a popsané.

3.4.1 Tuhé znečišťující látky (TZL)

Tuhé znečišťující látky nebo také je můžeme nazvat škvára či popel. Jedná se o částice o velikosti od 0,1 μm do 0,5 mm charakteristické rozmanitým složením. TZL mohou vznikat nejen díky lidské činnosti, ale také díky přírodě (např. výbuch sopky a následný prach unikající z ní). Pro lidské zdraví jsou nejnebezpečnější prachové částice o velikosti kolem 0,25 až 5 μm a z nich jsou pak nejhorší částice o velikosti 1 μm, protože tyhle se nejvíce zadržují v plicích. [1, 7]

Mezi hlavní charakteristiky patří tvar a velikost částic, ve velké míře tyhle charakteristiky rozhodují o odlučování z plynného prostředí. Jsou na nich závislé pohybové vlastnosti, které ovlivňují u elektrických a mechanických odlučovačů rychlost odlučování a tedy i na jejich konečném stupni odloučení. Velikost elektrického náboje závisí na velikosti částice, který je schopná nést sebou a díky tomu rozhoduje o elektrických možnostech odlučovačů. Také difúze částic, která se rozhodujícím způsobem podílí při procesu filtrace, je závislá na velikosti částice. Koncentrace a zrnitost části se měří díky optickým vlastnostem, které jsou závislé na velikosti částic. [1, 7, 8]

Charakteristické tvary a rozměry částic

Vliv na tvaru částice prachu, má především způsob jeho vzniku. Při kondenzaci vznikají nejjednodušší tvar částice, je to pravidelné tvary (koule). Tento způsob využíváme u termických procesů a částice kulového tvaru můžeme vidět na jemných

frakcích elektrárenského popílku. Nejsložitější tvary mívají prachové částice, které vznikají při mechanických operacích, jako je drcení a mletí. [8]

Elektrické vlastnosti částic

Přirozený náboj – kapalné i tuhé částice získají ihned při vzniku nebo po krátké chvíli určitý elektrický náboj [8]

Uměle nabíjení částic – pokud chceme, aby došlo k elektrickému odloučení, musí částice být nositelem dostatečně vysokého monopolárního elektrického náboje. Mezi základní nabíjení částic patří nabíjení volnými ionty, vznikající při korónovém výboji. Zle využít dva principy – nabíjení částic difúzní iontů, nebo nabíjení elektrickým polem. [8]

3.4.2 Těžké kovy (TK)

Těžké kovy jsou kovy, které mají hustotu větší jak $4\,500\text{ kg/m}^3$ a jsou toxické. Jsou to veškeré kovy i polokovy, které znamenají hrozbu pro životní prostředí. Jejich přítomnost ve spalinách je zajištěna díky tomu, že jsou to přirozené složky ve fosilních palivech. Pouze Selen a rtuť jsou z části přítomny ve formě vodní páry. Méně těkavé prvky mají tendence se kondenzovat na povrchu menších částic v proudu spalin. Díky tomuto můžeme sledovat obohacování frakcí nejjemnějších částic. Obsah stopových kovů v oleji a zemním plynu je o několik řádu nižší jak v uhlí, výjimkou je pouze nikl a vanad v těžkém topném oleji. Pro příklad při spalování uhlí se částice podřizují složitým změnám a díky nim se mohou odpařovat těkavé prvky. Mezi hlavní vlivy na rychlost odtěkání sloučenin těžkých kovů patří charakteristiky paliva a použité technologie spalování (např. použitá technologie spalování, typ kotle). [7, 8]

Mezi těžké kovy patří tyto látky chrom (Cr), kobalt (Co), nikl (Ni), měď (Cu), zinek (Zn), arsen (As), selen (Se), stříbro (Ag), antiomon (Sb), rtuť (Hg), thalium (Tl) a olovo (Pb). [8]

3.4.3 Fluorovodík (HF)

Fluoridy jsou přirozené sloučeniny, které se nachází se ve fosilních palivech. Pokud budeme spalovat fosilní paliva, jako např. uhlí k výrobě elektrické energie a nepoužijeme metodu odsiřování spalin, fluoridy se uvolní a uniknou spolu s výstupními plyny do ovzduší. Ve spojení s vodíkem vzniká fluorovodík a za pomoci okolní vlhkosti vzduchu přechází na kyselinu fluorovodíkovou. [8]

3.4.4 Chlorovodík (HCl)

Stejně jako fluoridy jsou chloridy přirozenou sloučeninou ve fosilních palivech. Ve velkých spalovacích závodech bez odsiřování spalin se považují za hlavních zdroj vypouštění chlorovodíku do atmosféry. Následkem přítomnosti stopových prvků chloridu ve fosilních palivech jako nafta a uhlí dochází k emisím HCl. Malá množství chloridů se uvolňují při spalování fosilních paliv. Některé chloridy se spojují s vodíkem, a díky tomu vzniká chlorovodík. Za přítomnosti vlhkosti vzduchu přechází na aerosol kyseliny chlorovodíkové. Při pohybu v atmosféře, dochází k jeho většímu zředění. [8]

3.4.5 Dioxidy a furany (PCDD a PCDF)

Chemické sloučeniny polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany jsou látky, které ve svých molekulách atomu obsahují vodík, kyslík a chlór. Jedná se nežádoucí vedlejší produkty, vysoce toxický. Zdroje emisí je možno rozdělit na přírodní a antropogenní. PCDD a PCDF vznikají především při nekontrolovaném hoření látek různých materiálů. Dopady na životní prostředí a zdraví člověka, jak už bylo zmíněno, jedná se o velmi toxické látky, proto jejich dopad na životní prostředí je velice nebezpečný. To platí i na zdraví a organismus člověka. [7, 8, 9]

Mezi největší producenty emisí PCDD a PCDF můžeme zařadit následující provozy a zdroje:

- Spalování odpadů
- Spalování paliv při vytápění rodinných domů
- Metalurgie procesy, pro příklad výroba hliníku, neželezné kovy
- Chemické závody, kde vzniká meziprodukt

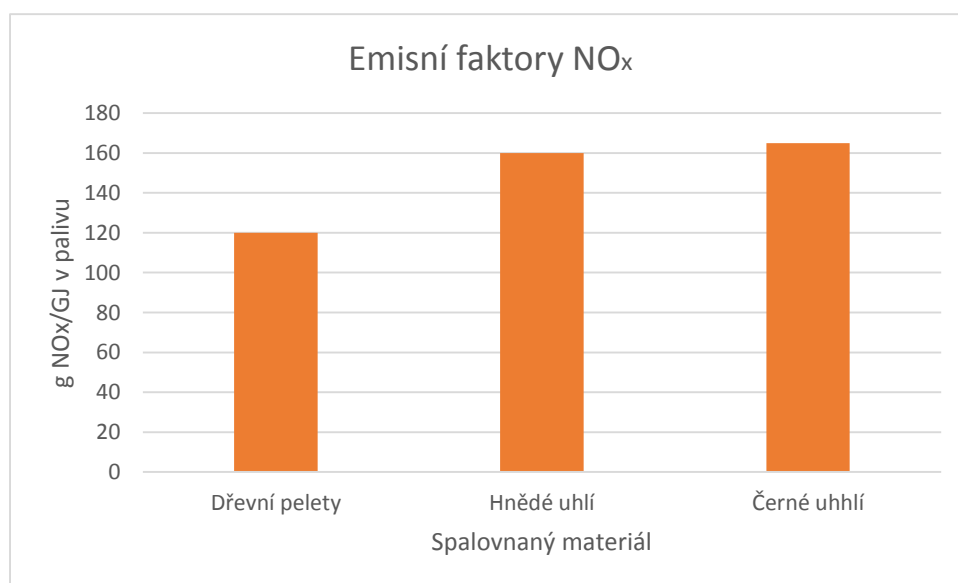
V prostředí přetrvávají velmi dlouho, zvyšují pravděpodobnost onemocnění rakovinou a poškození plodu dítěte. [7]

3.4.6 Oxidy dusíku (NO_x)

Oxidy dusíku (NO_x) je komplexní pojmenování pro směsi oxidu dusnatého (NO) a dusičitého (NO_2), spolu s oxidem siřičitým (SO_2) patří k nejvíce toxickým látkám v kouřovém plynu. V odpadních látkách u spalování jsou oxidy dusíku obsaženy z velké části v podobě oxidu dusného, který se až v atmosféře zoxiduje na oxid dusičitý. Podíl NO_2 v celkovém množství NO_x činí pouze jen 5 – 10 %. Jeho barva v plynném stavu je červenohnědá. [7, 10]

Oxid dusnatý vzniká při spalování fosilních paliv, oxidací sloučenin dusíku nacházejícího v palivě, nebo také přímou syntézou vzduchu a dusíku za vysokých teplot a přeměnou molekulárního dusíku ve vrchní části plamene za výskytu meziproduktů uhlovodíkových sloučenin. [10]

Množství oxidu dusnatého ve spalinách závisí především na technologických podmínkách spalování, nejvýznamnější technologické parametry jsou poměr vzduch/palivo v aktivní zóně, rychlost ochlazování spalin, teplota hoření a doba prodlevy spalin v oblasti nejvyšších teplot. Příklady obsahu naleznete v grafu [10]

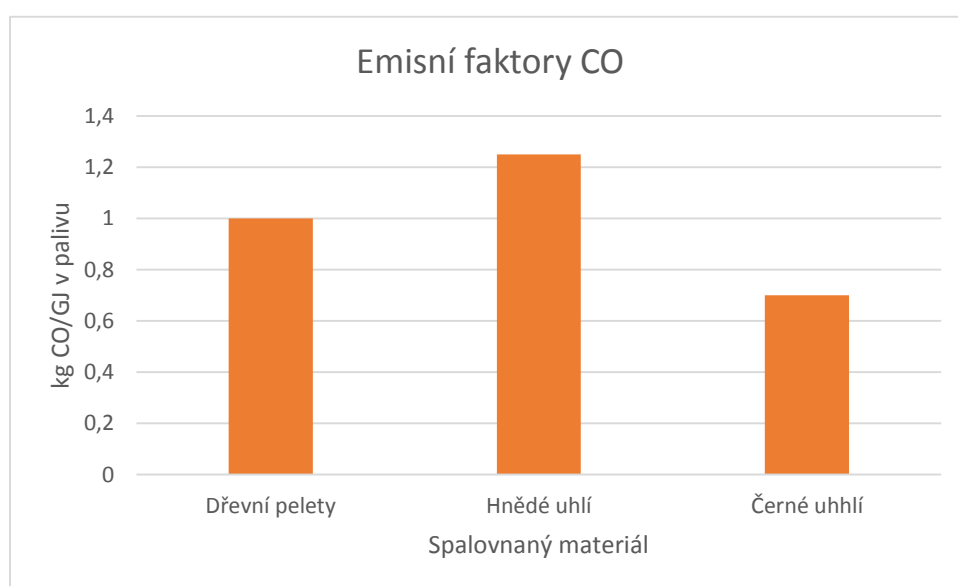


Obrázek 3.4 - graf emisí NO_x [7]

Koncentrace NO_x nezávisí pouze na zmíněných parametrech, ale také závisí na druhu použitého paliva, typu a konstrukci hořáku a mnoha dalších faktorech. Z toho dle důvodu jsou koncentrace NO_x v kouřových plynech značně rozdílné. Hodnota se v průměru pohybuje od 100 do 1 000 ppm. [10]

3.4.7 Oxidy uhlíku (CO a CO₂)

Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý plyn bez zápachu a chuti, je nedýchatelný a při vyšších koncentracích může člověku způsobit ztrátu vědomí i smrt. Vzniká nedokonalým spalováním uhlíku. Majitelé termických zařízení se snaží minimalizovat tvorbu CO z důvodu, že jeho výskyt ve spalinách ukazuje nedokonalost hoření (horší účinnost spalování) a také má je tu malé riziko koroze díky jeho přítomnosti. Můžeme jej najít v některých plynech jako je např. dřevoplyn, svítiplyn (v ČR se tento plyn už mnoho let nevyužívá ve veřejné síti), generátorový, vysokopecní a koksárenský plyn. [7, 8]



Obrázek 3.5 - graf emisí CO [7]

Oxid uhelnatý především vzniká když:

- Nízká teplota spalování nedojde k oxidaci paliva na oxid uhličitý
- Nedostatek kyslíku
- Krátký čas na spalování [7]

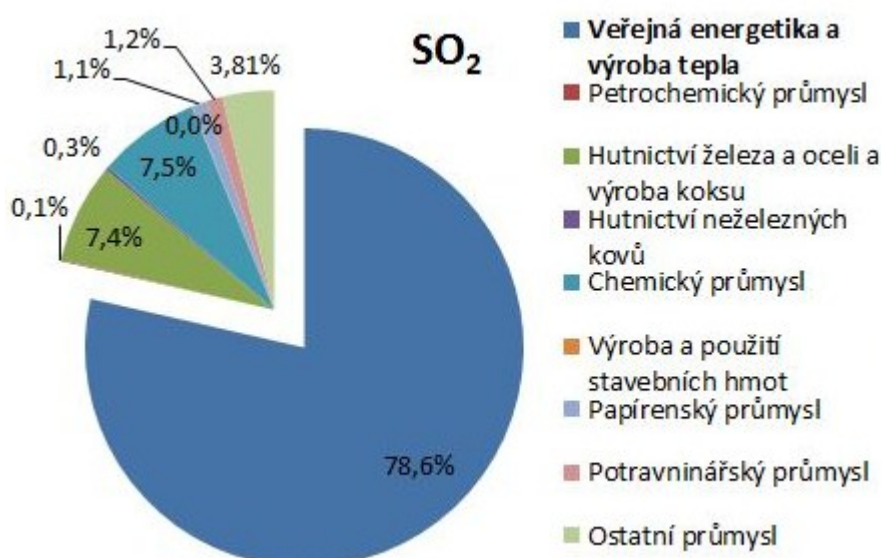
Oxid uhličitý (CO₂) je bezbarvý plyn v infračervené oblasti je s výraznou radiační absorpcí. V přírodě vzniká dýcháním, rozkladem organických látek a vulkanickou činností. Lidskou činností vzniká díky spalováním uhlíkatých paliv. CO₂ není znečišťující látkou, v atmosféře se nachází běžně v objemu 0,033 %. Ve spalinách je nežádoucí i přes jeho netoxičnost, připisuje se mu negativní vliv v souvislosti se skleníkovými plyny. [8]

3.4.8 Oxidy síry (SO_x)

Oxidy síry (SO_x) se na Zemi vyskytují ve více formách a vytvářejí mnoho škodlivin v atmosféře:

- Oxid siřičitý
- Kyselé aerosoly (např. kyselina sírová), které vznikají za pomoci oxidace oxidu siřičitého v atmosféře [7]

Oxid siřičitý (SO₂) patří s aerosoly nejvíce rozšířených látkám znečišťující volné ovzduší. Jediným přírodním zdrojem je vulkanická činnost, pokud nebereme v úvahu oxidaci v přírodě vnikajícího sirovodíku. V důsledku lidské činnosti vznikají především v teplárnách a elektrárnách, kde se spaluje palivo s vysokým obsahem síry (zhruba 80 % všech emisí SO₂), můžeme sem řadit domácí topeniště, ale také i některé technologické procesy (zejména metalurgické a chemické průmysly). Oxid siřičitý je bezbarvý, jedovatý a štiplavě páchnoucí plyn, který reaguje s tuhými suspendovanými částicemi na povrchu. Rozpouští se ve vodě. [7, 8]



Obrázek 3.6 - graf ukazující druhy [5]

Oxid siřičitý v atmosféře nezůstává dlouho beze změn, jeho koncentrace rychle klesá díky oxidaci na oxid sírový, který za přítomnosti vodní páry ihned reaguje (hydratuje) za vzniku kyseliny sírové. [8]

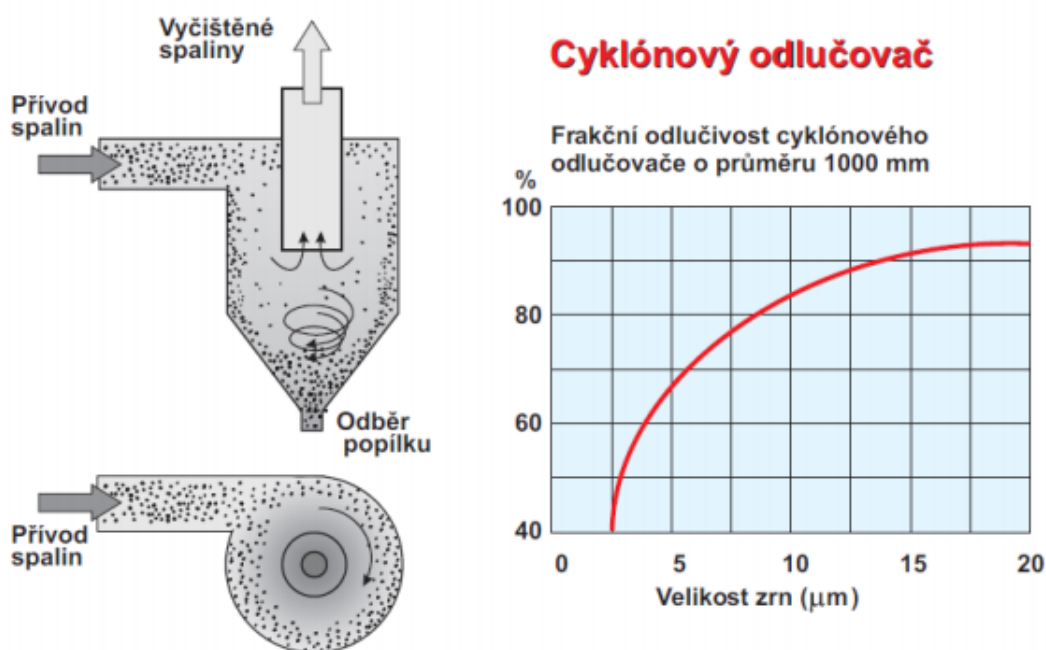
4. Metody čištění spalin

Technologie čištění spalin pracují na různých principech chemických, fyzikálních a fyzikálně chemických, díky kombinacím těchto dvou principů dosahujeme nejvyšších účinností čištění spalin a tím dosahujeme požadovaných úrovní čistot spalin. [12]

4.1 Odloučení tuhých částic

Tuhé prachové částice mohou být z kouřového plynu zachycovány různými typy odlučovačů, které mohou pracovat na rozdílných principech a různých účinnostech. Pro jednotlivé druhy popílku jsou různé metody vhodné. Máme mnoho principů odlučování pro příklad odlučovače elektrické, odlučovače mechanické a filtry. [1]

Odstředivý princip – při rotování plynů spalin v kuželových a válcových komorách dochází k vřovným odlučovačů (cyklonů), princip je zde založen na odstředivé síle viz (obrázek 4.1), kdy částčky prachu se zpomalí nárazem do stěny a spadnou dolů do zásobníku. [13]



Obrázek 4.1 - cyklonový odlučovač [14]

Gravitační princip – při odlučování se využívá zemská gravitace a její gravitační síla, která působí na částici. Základní složka, se kterou pracujeme, je tedy padavá rychlost částice. Gravitační princip nalezneme u gravitačních odlučovačů a z nich je nejjednodušší typ odlučovače takzvaná usazovací komora. [1, 13]

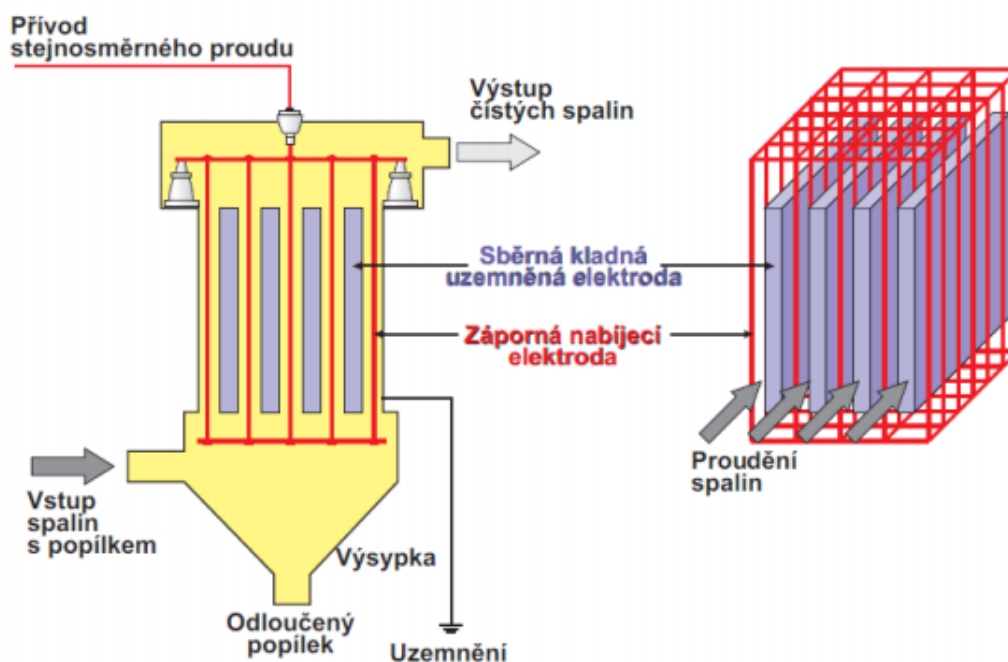
Setrvačný princip – při odlučování jej můžeme použít v případech, kde v blízkosti odlučovací plochy dochází k zakřivení rychlostního pole a trajektorie částice se díky setrvačnosti částice odchýlí od proudu plynů spalín. V proudu plynů spalín jsou vloženy různé překážky všech tvarů. Nejčastěji se kombinují setrvačné principy spolu s gravitačními. [13]

Intercepční princip – jedná se o přímé zachycení částice, se výrazně uplatňuje ve filtraci při průchodu spalín vláknitou či zrnitou vrstvou. [12]

Difúzní princip – difúzní odlučovací princip se využívá při obtékání těles s malou rychlostí a vychází z difúze částic z proudu plynu na povrch obtékaného předmětu. Odlučovací princip je důležitý a nabývá své důležitosti zejména při filtraci na povrchu filtračních vláken, které tvoří filtrační vláknitou vrstvu. [1, 13]

Elektrický princip – Princip je založen na působení elektrické síly na nabitě částice s nábojem nacházející se v elektrickém poli o určité intenzitě viz (obrázek 4.2). Částice musejí mít k odloučení mono polární náboj, který je v přirozeném stavu nedostatečný. Proto tyto částice se před vlastním odloučením nabíjejí ionty nosného plynu stejné polarity. [14]

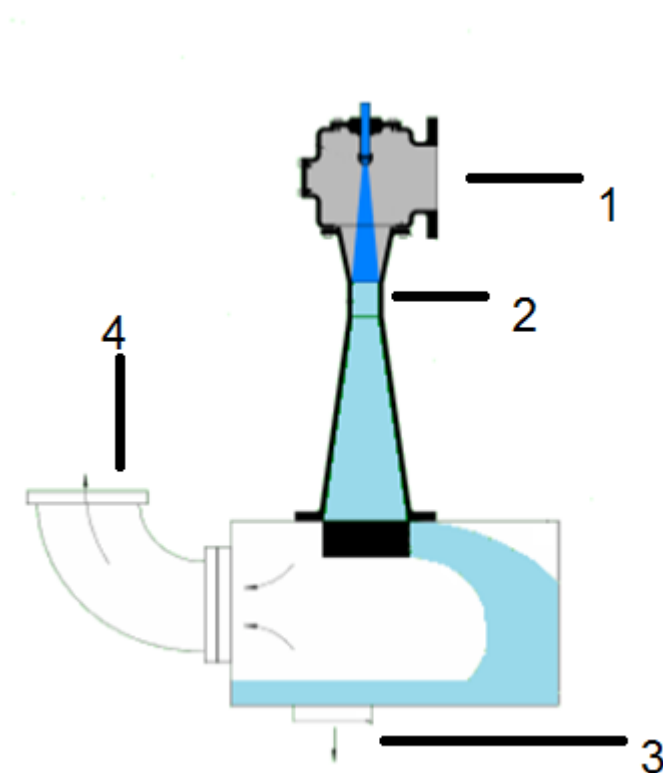
Elektrostatický odlučovač



Obrázek 4.2 - elektrostatický odlučovač [14]

4.2 Venturiho pračka

Venturiho pračka je konstrukčně velice jednoduchá (obrázek 4.3), skládá se z Venturiho dýzy, ve které pobíhá mísení proudu plyných spalin a čistící kapaliny (nejčastěji voda). Venturiho dýza obsahuje dvě kuželové potrubí proti sobě. Podle provozní teploty a korozních účinků pracovního media jsou zde využívány různé materiály od nerezavějících ocelí až po termoplasty. v nejužším se nachází tryska, která do odlučovače vstřikuje absorpční kapalinu (např. již zmíněnou vodu). [15]



Obrázek 4.3 - Venturiho pračka (1. Vstup znečištěných spalin, 2. Smíchání znečištěných spalin s čistící kapalinou, 3. Výpust' vody, Výpust' vyčištěných spalin) [15]

Nečistoty z plynu jsou odebrány při kontaktu s proudem vody, která je do dýzy nastříkána. Znečištěný plyn je přiveden do zúženého prostoru dýzy, kde dojde k vytvoření podtlaku. Zde také je nastříkána do plynu kapalina. V rozšíření, které dále následuje, dojde ke změnám tlaku a intenzivním turbulencím. Po průchodu dýzou se škodlivé částičky spojí se vstřikovanou kapalinou. Větší množství kapaliny se dále zachytí v odlučovači kapek. Vyčištěný plyn dále pokračuje výstupek k dalšímu procesu. [15]

4.3 Denifitrikace spalin

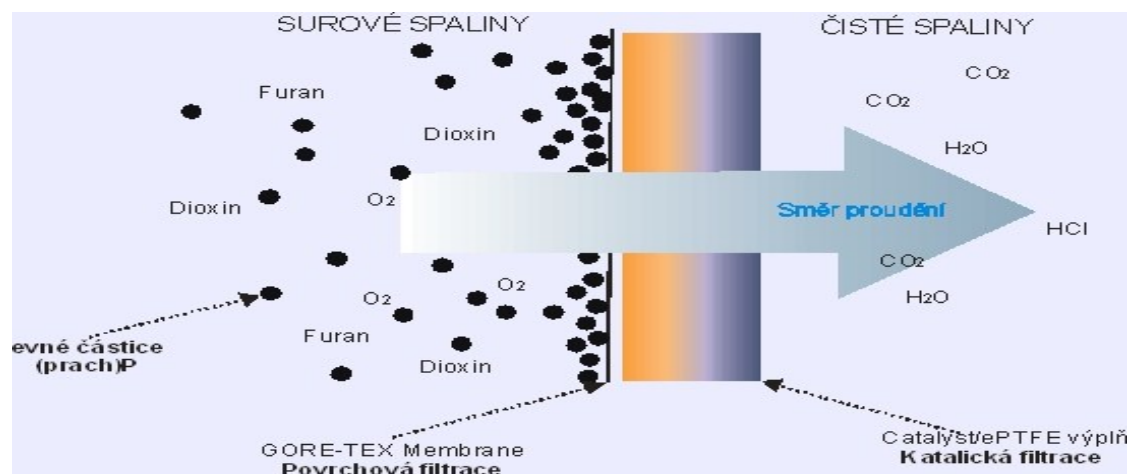
Denitrifikaci spalin je bereme za technicky složitější, než odsířování spalin. V kouřových plynech jsou obsaženy různé oxidy dusíku, převážně je to z 95 % oxid dusnatý (NO), asi z 5 % oxid dusičitý (NO₂) a výjimečně při teplotách pod 900 °C vzniká oxid dusný (N₂O). Organický dusík se nachází ve vzduchu při spalování i v palivu. Množství oxidů dusíku ve spalinách závisí na teplotě a obsahu kyslíku v místě hoření. [10]

Na snižování NO_x v palivu jsou dvě metody. Primární to je taková, že se škodliviny odstraňují přímo při spalování, resp. vůbec nevznikají. Pro příklad můžeme uvést fluidní spalování, při jeho použití v porovnání s klasickým spalováním (např. práškovým nebo roštovým kotlem) vzniklé kouřové plyny obsahují pouze 3 % síry a 25 % oxidu dusíku. [1, 10]

Sekundární způsob je založen na likvidování již vzniklého oxidu dusíku. Zde se používají katalytické a nekatalytické redukce. Selektivní katalytická redukce probíhá ve speciálním reaktoru. Oxidy vanadu jsou zde katalyzátorem. Metoda spočítá v tom, že do spalin se vstříkne amoniak a směs se vede přes katalyzátory, kde je tvořen elementární dusík a voda. Metoda patří mezi dražší, ale obsah NO_x v kouřovém plynu se snižuje o 80-90 %. [1, 10]

4.4 Katalyticko-filtrační systém Remedia

V posledních letech byl, zaznamenán význačný vědecký pokrok ve vývoji nových katalytických metod eliminace škodlivých organických látek ze spalin na speciální textilní filtrech. Katalytickému rozkladu jde předejít tak, že filtrujeme nejjemnější prachové



Obrázek 4.4 - schéma systému Remedia [16]

částice jako u obvyklých textilních filtrů. Regulace filtru je automatická při poklesu tlaku v soustavě dojde k vyčištění, tato operace se provádí v periodickém časovém sledu. Princip čištění nalezneme na obrázku 4.4 [16]

Mezi přední výhody filtru patří tepelná odolnost až do 250 °C, protože jsou použity materiály na bázi speciálních fluorovaných polymerů. Díky nim oxiduje stopové prvky koncentrace organických látek (složené aromatické uhlovodíky, ale také i furany) na oxid uhličitý, neškodnou vodu a chlorovodík. Chlorovodík je dále zachycen v pračce spalin. Ve všech zařízeních, kde je instalován tento typ speciálního katalytického textilního filtru se výstupní hodnoty emisí furanů pohybují v rozsahu od 30 % do 50 % požadovaného limitu 0,1 mg TE/m³ (TE nebo také TEQ je toxický ekvivalent). Inventury emisí furanu za daný rok můžeme najít na místech jako Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP ČR). Emisní inventury provádí pro MŽP ČR speciální týmy odborníků, které na to mají certifikované vybavení. V posledních letech se hodnoty pohybovaly v rozmezí 640 – 740 g TE PCDD/F. Z této hodnoty emisí tvoří zhruba 400 g lokální topeniště, cca 70 g aglomerace železné rudy a sekundární produkce hliníku tvoří zhruba 5 g. [16]

4.5 Čištění kyselých složek oxidů síry, HCl a HF

V zařízeních, která jsou určena k odsiřování spalin, dochází k odsíření těchto látek těchto látek SO₂, HCl, HF. K odstranění látek se používají alkalická činidla, která kyseliny neutralizují. Technologii odsíření můžeme charakterizovat velkými hmotnostními toky čištěných látek, velmi nízkou koncentrací znečišťujících látek ve spalinách a značným objemem čištěných spalin. Technologie čištění můžeme rozdělit na tři základní metody:

- Suchá metoda
- Mokrý metoda
- Polosuchá metoda [1, 19]

4.5.1 Suchá metoda odsiřování spalin

U suché metody čištění spalin jsou vedeny spaliny do reaktoru, kde přichází do kontaktu se suchou aktivní látkou (sorbentem). Jedná se o jemně rozemletý vápenec, který se vmíchá do proudu spalin. Tato metoda odsiřování se využívá při vysokých teplotách spalin, mechanismus reakce je založen na bázi heterogenní reakci tuhých fází plynu. [1, 19]

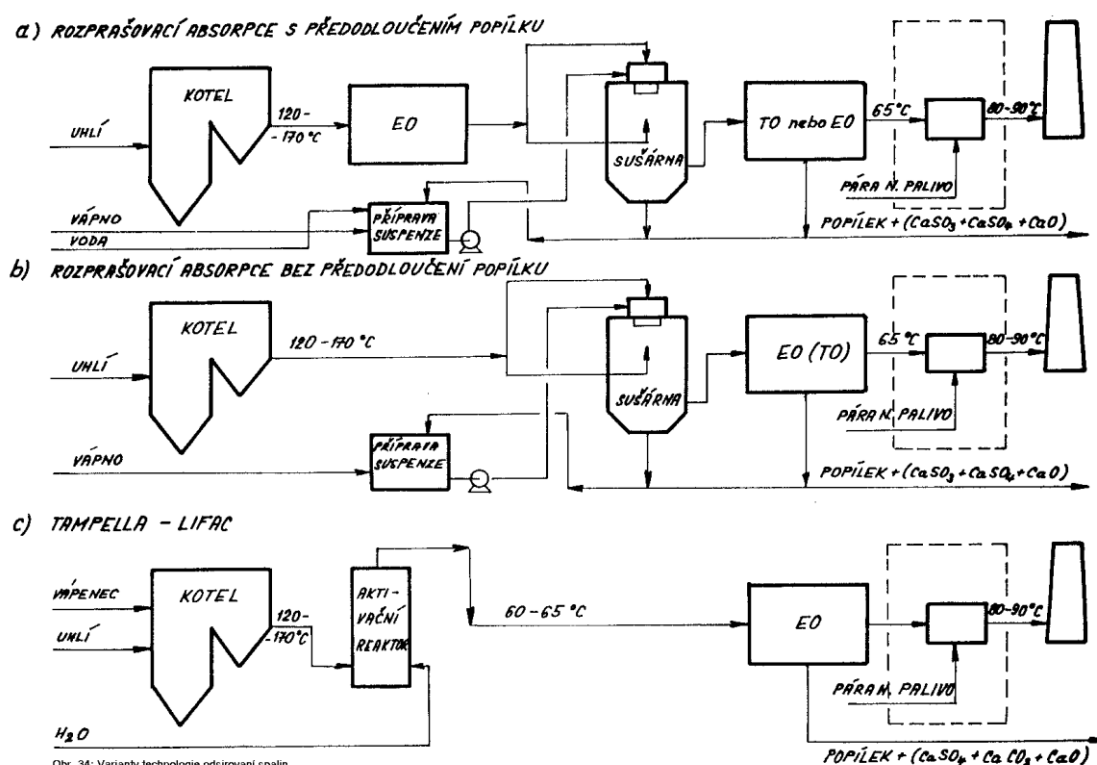
Kanalizace vápence probíhá při teplotách nad 900 °C, reakce mezi oxidem vápenatým (CaO) a oxidem siřičitým (SO₂), probíhá při významněji nižší teplotě mezi 600 °C a 1100 °C. Kromě SO₂ zde reagují veškeré škodliviny kyselého charakteru, sem se také řadí HF a HCl, které se dále přemění na fluorid a chlorid. Produkty vzniklé při reakci jsou dále zachyceny na tkaninový filtr, popřípadě mohou být zachyceny také v elektroodlučovači, ale ten by za účely zachytávání těchto látek musel být upraven, kvůli vysokému měrnému odporu CaO a díky tomu by narostla potřebná odlučovací plocha. Nevýhodou je především zvýšené množství odpadního produktu nízké využití CaO, dále sem spadá dříve zmíněné předělání elektroodlučovače. Největší nevýhodou je nízká účinnost metody odlučování. [18, 19]

4.5.2 Mokrý metoda odsiřování spalin

U mokré metody čištění spalin, jsou spaliny propíraný ve sprchových pračkách, kde se používá voda s alkalizovaným přídavkem vápenného mléka. Dosahuje se touto metodou velmi dobré účinnosti vyčištění spalin nejen od kyselých složek, ale také i prachových částic. V průběhu doby, kdy jsou spaliny v absorbéru, dochází k odpařování vody ze suspenze a tím se ochladí spaliny na optimální teplotu 55 až 60 °C. Při mokrých metodách vznikají odpady dvojího druhu. Jde o netoxické solné odpady (především chloridy) o poměrně vysokých hmotnostních tocích, které kdyby se vypustili do vodních toků, by způsobily nežádoucí zasolování řek. Tento problém se zatím řeší skládkováním. Druhý problém je zpracování izolovaných koncentrátů těžkých kovů. [1]

4.5.3 Polosuchá metoda odsiřování spalin

Metoda je založena na vstřikování vápenného hydrátu ve formě suspenze do proudu spalin v reaktoru, kterým je rozprašovací sušárna. Zde probíhá adiabatické odpařování vody ze suspenze vlivem teploty spalin a díky tomu se teplota spalin dostane na optimální hodnotu pro reakci. Proces můžeme uskutečnit ve třech variantách (obr. 4. 5.) [1, 19]



Obr. 34: Varianty technologie odsiřování spalin mokrosuchým vápným způsobem

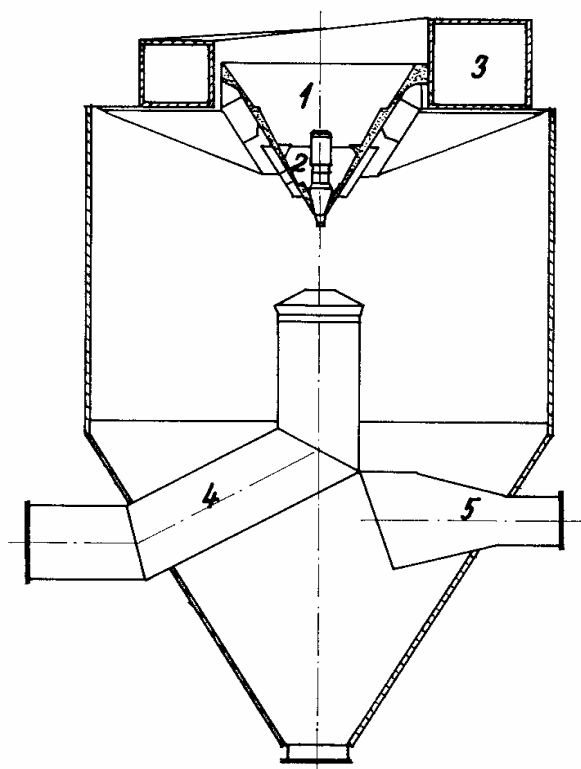
Obrázek 4.5 - schéma tří variant realizace polosuché metody [18]

Rozprašovací absorpce s předodloučením popílků – zde jsou spaliny z kotle nejprve odprášeny v elektroodlučovači a teprve potom jdou do sušárny, kde se smíchávají s vápenatou suspenzí. Při odpařování vody vzniká ze suspenze pevný produkt, který je odveden ve spodní části sušárny do elektroodlučovače nebo do tkaninových filtrů. Vápenná suspenze je připravuje vyhašením vápna vodou v nádrži na přípravu suspenze, kam se recirkuluje část produktu. Spaliny po procesu jdou do komína, někdy se spaliny přehřívají před vypuštěním. [18]

Rozprašovací absorpce bez před odloučením popílků – Jediný rozdíl od první metody je takový, že do sušárny jdou spaliny i s popínkem, který se nefiltruje. Tam se smíchává se suspenzí a další fáze jsou zcela stejné jako u metody první. [18]

Tampella–Lifac – jedná se o hybrid polosuché vápencové aditivní technologie a suché vápencové metody. Vápenec se vstříkuje přímo do kotle na práškové palivo, ve kterém kalcinuje a částečně zachycuje SO_2 , spaliny se v aktivačním reaktoru smíchávají s vodou pomocí nástřiku, aby se docílila optimální teplota odsíření. Produkt odsíření se odloučí v elektroodlučovači nebo ve tkaninovém filtru. Spaliny jdou dále do komína. Tento proces odsiřování vyžaduje dostat teplotu spalin k rosnému bodu vody ve spalinách. [18]

Reaktory jsou nejčastěji vyrobeny z konstrukčních ocelí a uvnitř jsou chráněny polyesterovými nátěry proti korozi. Na obr. 9 můžeme vidět rozprašovací sušárnu, ve které se suspenze dosahuje za pomoci rotujícího kotouče s mnoha otvory, kterými se vstříkuje suspenze do spalin. Spaliny se přivádějí spodní částí obvyklý poměr mezi přívodem vrchní a spodní částí je 85:15. Vrchní kotouč je vyrobený ze speciálních slitin Cr-Ni a bývá poháněný elektromotorem. Počet otáček se pohybuje mezi 4 až 6 tisíci otáčkami za minut, velikost vstřikovaných kapiček je okolo $20\text{ }\mu\text{m}$. V praxi můžeme najít i jiné koncepce reaktorů např. pracují s dvoufázovými tryskami suspenze – vzduch a bez spodního přívodu spalin. [1, 18]



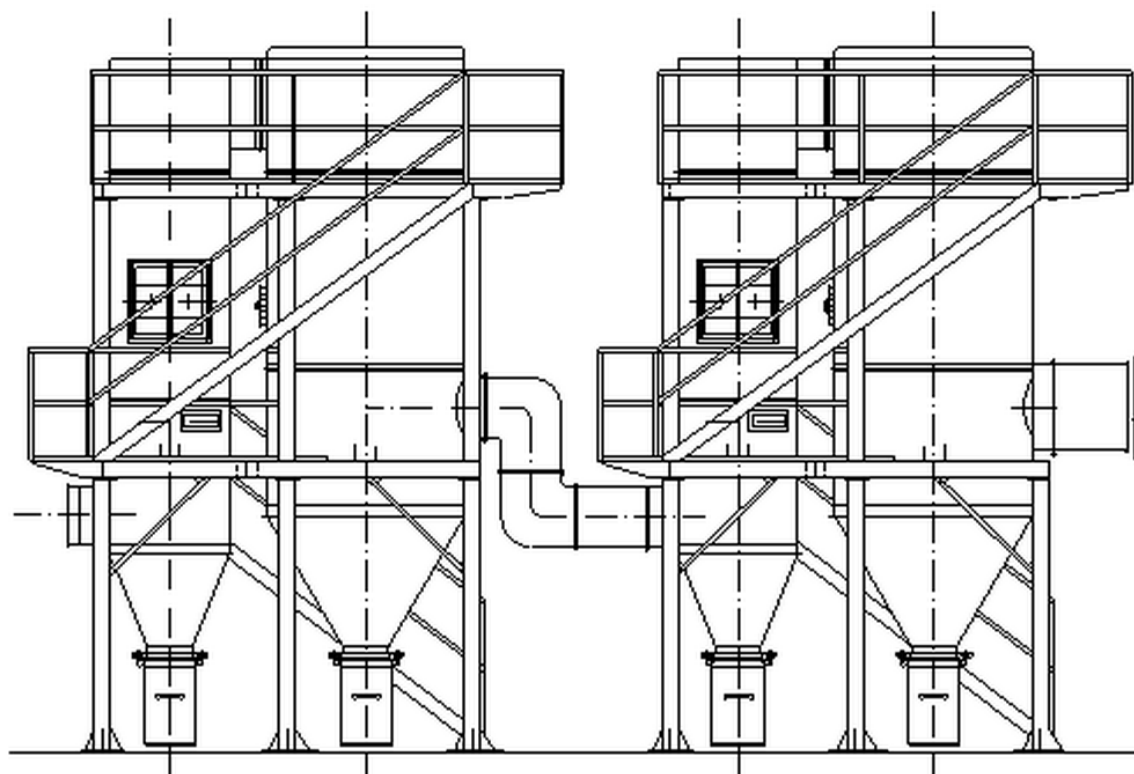
Obrázek 4.6 - rozprašovací sušárna (1. Promíchání suspenze, 2. Rozstřikovač suspenze, 3. Rozvaděč vzduchu, 4. Přívod znečištěných spalin, 5. Odvod čistých spalin) [18]

5. Návrh polosuchého čištění spalin

Pro svou bakalářskou práci jsem si zvolil polosuchou pračku spalin typu PV od firmy JUNO-Eco s.r.o., kde se využívá technologie rozprašovací absorpce bez před odloučení popílku. Spaliny jdou přímo z kotle přes výměník tepla a bez odloučení tuhých částic vstupují do sušárny. V sušárně se promíchávají s vápennou suspenzí. Po odpaření vody vzniká pevný produkt, který se částečně odvádí ze spodní části sušárny a částečně jde do elektroodlučovače nebo tkaninového filtru. Vápenná suspenze vzniká v nádrži na přípravu suspenze metodou vyhašení vápna vodou, do nádrže se recirkuluje část produktu. Spaliny se po úpravě vypouštějí do komínu, spaliny se mohou, když je potřeba přehřívat před vypuštěním. [20]

5.1 Popis zařízení

Pračky spalin řady PV jsou technologicky určené na čištění spalin od škodlivin oxidu siřičitého (SO_2), oxidů těžkých kovů a popílku. Jsou stavěny jako samostatné zařízení, dané do technologické linky spalovny odpadů. Jde o stavebnicové zařízení, kde základem je pračka spalin PV 20. V případě vyšších požadavků na vyšší výkon je možno řadit pračky PV 20 za sebe paralelně (viz. Obrázek 5.1), avšak maximální počet



Obrázek 5.1 - dvoustupňová pračka spalin typu PV 20 [20]

zařízení v soustavě jsou čtyři. Pokud máme v soustavě dvě zařízení, nazýváme jednotku PV 40, pokud tři potom se jednotka nazývá PV 60 a maximální čtyři jednotky jsou pod označením PV 80. Souhrn technických údajů všech jednotek nalezneme v tabulce 5.1 [20]

Každá jednotka obsahuje provozní nádrž na sorbent (v níž je obsaženo míchadlo) a komplet tří dávkovacích čerpadel. Přísávací kladka studeného vzduchu, která se zde nachází kvůli ochraně filtrační tkaniny, je společná pro celou pračku a umísťuje se na výstupní kouřovod mezi filtrem a pračkou. Co se týče ovládání, tak to je řešeno společně pro všechny varianty praček. Pokud jsou kladeny velmi vysoké požadavky na účinnost vypírky (vyšší jak 95 %), je zde možnost zařadit dva reaktory za sebe do série za účelem vyššího výkonu. Vypírka potom probíhá dvoustupňově. [20]

Tabulka 5.1 - souhrn technických údajů pračky spalin typu PV [20]

Typ zařízení		PV 20	PV 40	PV 60	PV 80
Objem spalin min. - max.	Nm ³ /s	2 - 6	4 - 12	6 - 18	8 - 24
Max. teplota spalin na vstupu	°C	300	300	300	300
Min. teplota spalin na výstupu	°C	100	100	100	100
Max. spotřeba sorbentu	l/hod	360	720	1080	1440
Poměr sorbentu Ca(OH) ₂ : H ₂ O		1 : 4	1 : 4	1 : 4	1 : 4
Účinnost vypírky	Jeden stupeň	> 90 %	> 90 %	> 90 %	> 90 %
	Dva stupeň	> 95 %	> 95 %	> 95 %	> 95 %

Příprava sorbentu a jeho přeprava do provozní nádrže je řešena jako samostatný celek, tento celek pak je ovládaný svým vlastním panelem. Základní regulace a provoz pračky je závislý na teplotách spalin při vstupu a výstupu. Teplota je měřena ve vstupním potrubí spalin pro všechny reaktory společně, ale ve výstupním potrubí se měří každý reaktor zvlášť. [20]

5.2 Popis uspořádání zařízení polosuché pračky spalin a jeho hlavní části

Zařízení pracuje při vstupu spalin při teplotách 230 až 250 °C. Proto musí být před ekoblok umístěn výměník tepla (spaliny-voda, spaliny-vzduch nebo směšovací horkovodní kotel). Po spuštění zařízení jsou spaliny o daných teplotách vháněny do reaktoru, kde dochází ke smíchání spalin se sorbentem (dochází zde k chemické reakci, při které se sorbent váže na škodliviny ve spalinách). Zároveň je vysoušen a jde do tkaninového filtru. Před tkaninovým filtrem se změří teplota spalin, pokud je teplota vyšší jak předepsané maximum, tak se spaliny schladí na předepsanou maximální teplotu. V tkaninovém filtru se zachytává vysušený sorbent s popílkem a za pomoci regenerace je sfukován přes výsypku do zásobníku (popelnice). Za tkaninovým filtrem proudí vyčištěné spaliny přes klapku na řízení podtlaku a jsou odtaženy za pomoci ventilátoru do komína. Hlavní části pračky spalin nalezneme v tabulce 5.2 [20]

Tabulka 5.2 - hlavní části pračky spalin [20]

1. Reaktor	8. Rozvod užitkové vody
2. Dosoušející komora	9. Rozvodu užitkové vody
3. Vstupní kouřovod	10. Čidel vstupní a výstupní teploty spalin
4. Tři tlakové trysky	11. Dávkovacích čerpadel sorbentu DČ 1 – 3
5. Rozvod stlačeného vzduchu	12. Ventilů automatického proplachu potrubí sorbentu EV 1, 2
6. Zásobník vápna	13. Elektrorozvaděče
7. Míchací nádrže	

Reaktor je válcová ocelová nádoba, která má výsypku a popelnici na zachycení popílek a usazenin z čištění reaktoru. Nad výsypkou se nachází tři rozprašovací trysky, které jsou zde kvůli dokonalému rozprášení sorbentu. Správnou funkčnost trysky zajišťuje viskozita sorbentu a vody, vzduchových tlakových poměrech v trysce. Na reaktor je připojen spojovací kanál, který vede do dosoušecí komory, která zaručuje dostatečnou reakční dobu nezbytnou pro chemické reakce. [20]

Tkaninový filtr musí splňovat předepsané provozní předpisy (stupeň separace, rychlost proudění, jmenovitý průtok vzduchu, teplotní odolnost atd.). [20]

Přípravna sorbentu zajišťuje rozmíchání, dávkování a dopravu sorbentu do rozprašovacích trysek. Součástí přípravy jsou dávkovací čerpadla, míchadla a plnicí nádrž, která je opatřena systémem automatickým propláchnutím rozvodů sorbentu v daném časovém úseku a po skončení provozu. [20]

Dochlazovací klapka se zde nachází kvůli bezpečnosti provozu tkaninového filtru, zajišťuje provoz v mezích předepsaných teplot a zabraňuje propálení filtru. [20]

Kouřovody jsou to ocelové svařence, které zajišťují dopravu spalin mezi jednotlivými díly ekobloku. Řízení podtlaku umožňuje v závislosti na úrovni podtlaku zavírat nebo otevírat klapku, aby úroveň podtlaku byla v předepsaných mezích. [20]

Elektrorozvaděč slouží k zajištění všech automatických a poloautomatických funkcí ekobloku. Aby plnil své funkce správně, musí být spojen s elektrorozvaděčem zdroje spalin. Při provozu ekobloku se sledují hodnoty: hladina sorbentu v nádrži, teploty před a za reaktorem, tlakový vzduch, stav a funkce dávkovacího čerpadla a odpor tkaninového filtru. Po ukončení provozu veškeré funkce pračky probíhají automaticky. [20]

Pračka se do provozu uvede sama automaticky, jakmile dosáhne nastavené vstupní teploty spalin. Po dosažení nastavené teploty se otevírají elektromagnetické ventily stačeného vzduchu a dochází ke spuštění dávkovacích čerpadel sorbentu, které obsahují vlastní frekvenční měniče. Nastavení otáček čerpadla se dělá ručně, dle požadovaného množství sorbentu pro trysky. Ochrana tkaninového filtru je řešena, pomocí klapky studeného vzduchu, který je umístěn před filtrem (servopohon). Při poklesu teploty spalin pod přednastavenou tepelnou mez se klapka opětovně uzavře. Při automatickém režimu míchadla pracují periodicky (zapnuté a vypnuté). Doba kdy je míchadlo zapnuté, se pohybuje mezi 10 až 60 sekundami. Množství sorbentu se kontroluje pomocí hladinoměru. Na základě informací o množství sorbentu se doplňuje ze zásobníku. [20]

Rozvaděč kromě regulačních prací, má za úkol bezpečnost (hlavní vypínač, ochrany motorů, jištění, atd.), dle vyžadujících předpisů. Signalizace poruch musí být akustická (alarm) i optická (např. červené světlo na panelu) s možností externí signalizace. [20]

5.3 Kontrolní výpočet doby setrvání spalin v reaktoru

Výpočet je provedený pro zadanou spalovnu, která má jmenovitý výkon 400 kg/hod, kde instalována pračka spalin PV 20. Zadané hodnoty viz tabulka 5.3.

Tabulka 5.3 - zadané hodnoty spalovny

Název	Hodnoty	Značka
Jmenovitý výkon spalovny	400 kg/hod	m_o
Výhřevnost odpadu (průmyslový odpad)	18 MJ/kg = 18 000 KJ/kg	$H_{u,o}$
Stabilizační palivo	Zemní plyn	$H_{u,p}$
Výhřevnost stabilizačního paliva	38 MJ/kg = 38 000 KJ/kg	$H_{u,p}$
Obsah vody v odpadu	20 %	H_2O
Obsah vodíku v odpadu	10 %	H
Obsah síry v odpadu	1 %	S
Obsah chloru v odpadu	0,5 %	Cl

Výpočty byly provedeny na základě vzorců prof. Pavla Kolata, které použil v posudku praček spalin [20], hodnoty jsou převzaté ze základů tepelné techniky od Prof. Miroslava Rédra a Prof. Miroslava Příhody [21]

Teoretické množství spalin z odpadu:

$$V_{sp,min,o} = \frac{0,95 \cdot H_{u,o}}{4 \cdot 187 + 1,375} = \frac{0,95 \cdot 18\,000}{4 \cdot 187 + 1,375} = 4,08 \text{ [Nm}^3/\text{kg]} \quad (5.1)$$

Teoretické množství vzduchu pro odpad:

$$V_{vz,min,o} = \frac{1,012 \cdot H_{u,o}}{4 \cdot 187 + 0,5} = \frac{1,012 \cdot 18\,000}{4 \cdot 187 + 0,5} = 4,35 \text{ [Nm}^3/\text{kg]} \quad (5.2)$$

Teoretické množství vlhkých spalin z odpadu:

$$V_{sp,o,v} = V_{sp,min,o} + V_{H_2O} = 5,69 [Nm^3/kg] \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 11,1 * H + 1,43 * H_2O + (\varphi - 1) * V_{vz,min,o} = \\ &= 11,1 * 0,1 + 1,43 * 0,2 + (1,05 - 1) * 4,35 = 1,61 [Nm^3/kg] \end{aligned} \quad (5.4)$$

Skutečné množství vlhkých spalin z odpadu (0°C):

$$\begin{aligned} V_{sp,sk,o} &= V_{sp,o,v} + \varphi * (n_0 - 1) * V_{vz,min,o} = \\ &= 5,69 + 1,05 * (2,2 - 1) * 4,35 = 11,17 [Nm^3/kg] \end{aligned} \quad (5.5)$$

kde je celkový přebytek vzduchu max. $n_0 = 2,2$

Celkové množství vlhkých spalin z odpadu pro daný výkon spalovny:

$$V_{sp,celk,o} = m_o * V_{sp,sk,o} = 400 * 11,17 = 4\,468 [Nm^3/hod] \quad (5.6)$$

Tepelný výkon z odpadu:

$$N_{k,o} = m_o * H_{u,o} = 400 * 18\,000 = 7,2 [MJ/h] = 15 [MW] \quad (5.7)$$

Průtočné objemy ve spalovací peci:

První komora - stechiometrické spalování, kde $n_1 = 1$

$$V_{vz,1} = m_o * n_1 * V_{vz,min,o} = 400 * 1 * 4,35 = 1\,740 [Nm^3/h] = 0,48 [Nm^3/s] \quad (5.8)$$

Druhá komora - kde přebytek vzduchu 150 % a $n_2 = 2,5$

$$\begin{aligned} V_{vz,2} &= m_o * n_2 * V_{vz,min,o} * 0,25 = \\ &= 400 * 2,5 * 4,35 * 0,25 = 1\,086 [Nm^3/h] = 0,30 [Nm^3/s] \end{aligned} \quad (5.9)$$

První a druhá komora

$$V_{vz,1+vz,2} = V_{vz,1} + V_{vz,2} = 1\,740 + 1\,086 = 2\,826 \text{ [Nm}^3/\text{h]} = 0,79 \text{ [Nm}^3/\text{s]} \quad (5.10)$$

Dohořívající hořák:

Výkon dohořívajícího hořáku je 1 500 kW, spotřeba stabilizačního plynu (zemního plynu) pro dosažení 1 200 °C je maximálně 192 Nm³/hod.

Množství vlhkých spalín z paliva:

$$V_{sp,v,p} = V_{p2} * V_{sp,v,p} = 192 * 10,79 = 2\,072 \text{ [Nm}^3/\text{h]} = 0,58 \text{ [Nm}^3/\text{s]} \quad (5.11)$$

$$V_{sp,v,p} = n_p * V_{vz,min,p} + V_{H_2O} = 1,05 * 10,03 + 0,26 = 10,79 \text{ [Nm}^3/\text{Nm}^3] \quad (5.12)$$

$$V_{vz,min,p} = 0,264 * H_{u,p} = 0,264 * 38 = 10,03 \text{ [Nm}^3/\text{Nm}^3] \quad (5.13)$$

$$V_{H_2O} = 0,38 * 0,0179 * H_{u,p} = 0,38 * 0,0179 * 38 = 0,26 \text{ [Nm}^3/\text{Nm}^3] \quad (5.14)$$

Celkové množství vlhkých spalín:

$$V_{sp,celk} = V_{sp,celk,o} + V_{spv,p} = 4\,468 + 2\,072 = 6\,540 \text{ [Nm}^3/\text{h]} = 1,82 \text{ [Nm}^3/\text{s]} \quad (5.15)$$

Střední teplota spalín v pračce $T_{sp2} = 200^\circ \text{C}$

$$V_{sp2} = V_{sp,celk} * \frac{473}{273} = 6\,540 * \frac{473}{273} = 11\,331 \text{ [Nm}^3/\text{h]} = 3,15 \text{ [Nm}^3/\text{s]} \quad (5.16)$$

Reakční doba polosuché vypírky:

Výrobce uvádá objem pračky a dosušovací komory je 21,2 m³.

$$\tau_z = \frac{V_k}{V_{sp2}} = \frac{21,2}{3,15} = 6,7 \text{ [s]} \quad (5.17)$$

5.4 Metoda určení doby setrvání reakční komory

Pro dokonalé rozprášení vápenné suspenze v reaktoru jsou použity 3 trysky, které rozprašují vápennou suspenzi za pomoci stlačeného vzduchu při tlaku 0,9 MPa. Spotřeba vzduchu je závislá na množství použité vápenné suspenze, pro PV 20 to je 150 m³/h na 360 l/h sorbentu. Úhel rozprachu z trysky je 30° až 35°. Dráhu kapky můžeme rozdělit na dva úseky: ohřev na teplotu vypaření a vypařování kapky, kdy hmotnost kapky klesá. Z hlediska teorie přenosu tepla a hmoty byla určena dráha kapky nutná pro vypaření a pro nezbytné chemické reakce. Rychlost sorbentu při výstupu z trysky je 0,5 m/s. Výsledná rychlost kapky se určuje pomocí zákona zachování hybnosti a jeho hodnota by měla být 118 m/s. [20]

Velikost kapek se pak určuje měřicími metodami (fotografická, elektronická nebo optická). Na základě těchto měření určí střední průměr kapek, který závisí na tvaru trysky, rychlosti kapky a vlastnostech sorbentu. Pračka je navrhnutá, aby pracovala co nejefektivněji ve své funkční určené a vymezené oblasti. Tato oblast se vymezuje na základě výpočtu maximálního průměru modelové kapky, která je vypracovaná experimentálně na škole VŠB-TUO. Výpočet a experiment byl proveden na modelových kapkách v laboratoři tabulka 5.4 [20]

Tabulka 5.4 - pro výpočet maximálního průměru modelové kapky [20]

Rychlost na výstupu z trysky [m/s]	Maximální průměr kapky [μm]
50	414
150	92
200	54
250	36
300	30
500	8

Pro rychlostní poměry v trysce vychází maximální průměr kapky 182 μm.

V následující části nalezneme, jak se postupuje při řešení velikosti kapek a jak se počítá doba potřebná na to, aby kapka se v reaktoru vypařila.

Přenos tepla při ohřevu a vypařování kapky se počítá následovně:

Součinitel přestupu tepla:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{sp}}{D} \quad (5.18)$$

Nusseltovo kritérium:

$$Nu = 2 + 0,552 * Re^{0,5} * Pr^{0,33} \quad (5.19)$$

Reynoldsovo kritérium:

$$Re = \frac{w * D}{V_{sp}} \quad (5.20)$$

Prandtlovo kritérium:

$$Pr = \frac{V_{sp}}{a_{sp}} \quad (5.21)$$

Pro hustotu spalin $0,708 \text{ kg/m}^3$ při teplotě $240 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $0,1 \text{ MPa}$ odečteme z tabulek:

Kinematickou viskozitu:

$$v_{sp} = 37 * 10^{-6} [\text{m}^2 / \text{s}]$$

Tepelnou vodivost:

$$\lambda_{sp} = 0,045 [\text{W} / (\text{m} * \text{K})]$$

Měrnou tepelnou kapacitu:

$$c_{p,sp} = 1,4 [\text{kJ} / (\text{kg} * \text{K})]$$

Součinitel přestupu tepla:

$$\alpha = 3525 [\text{W} / (\text{m}^2 * \text{K})]$$

Dosazením vychází:

$$Re = 579; Pr = 0,78; Nu = 14,23$$

Čas potřebný k ohřátí kapky z 20 °C na 100 °C se určí z tepelné bilance kapky:

$$\alpha * \pi * D^2 * (T_0 - T_{w1}) = \frac{c_{sp} * m_k * (T_{w2} - T_w)}{\tau} \quad (5.22)$$

$$\tau = \frac{c_{sp} * m_k * (T_{w2} - T_w)}{\alpha * \pi * D^2 * (T_0 - T_{w1})}$$

$$\tau = 0,0168 \text{ [s]}$$

Přenos tepla při vypařování kapky se určí ze zjednodušené tepelné bilance:

$$\frac{m_k * l_v}{\tau} = \alpha * S_k * T \quad (5.23)$$

$$\tau = \frac{m_k * l_v}{\alpha * S_k * T}$$

$$\tau = 0,195 \text{ [s]}$$

Celková doba pro ohřev a vypařování se spočítá tak, že sečteme oba časy. Po sečtení nám vychází výsledná doba 0,2118 sekundy.

Přenos hybnosti suspenze se určuje za pomoci rovnováhy odporových, gravitačních a vztakových na kapku. Jelikož rychlost kapky je nelineární průběh, je zde vyneseno výsledky řešení po časových krocích. Výsledná dráha kapky a tedy i délka pračky je dána součtem jednotlivých dílčích drah viz tabulka 5.5 [20]

Tabulka 5.5 - střední rychlosti a dílčí dráhy v jednotlivých časových krocích [20]

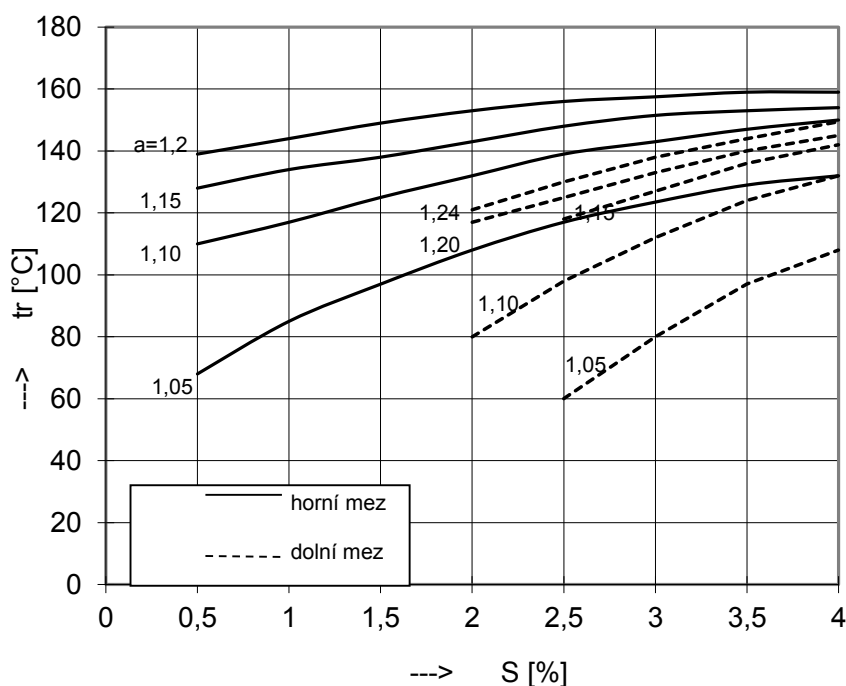
τ [s]	w [m/s]	τ [s]	w [m/s]	τ [s]	w [m/s]
0,00	118,00	0,0225	31,640	0,16	4,056
0,0025	90,89	0,25	28,7	0,18	3,652
0,005	73,97	0,03	21,93	0,2	3,311
0,0075	62,22	0,04	16,667	0,22	3,014
0,01	53,81	0,06	12,504	0,24	2,76
0,0125	47,37	0,08	9,46	0,26	2,53
0,0150	42,33	0,1	6,87	0,28	2,332
0,0175	38,26	0,12	5,53	0,316	1,976

Kapka v reaktoru urazí 2,821 m, jelikož v reaktoru je celková doba ohřátí a vypaření 0,2118 sekundy. Dráha spalin, kterou urazí v reaktoru je 5,8 m a nalezneme ji na konstrukčním výkresu, což vyhovuje s rezervou. [20]

Průměr reakční komory se volí tak, aby doba setrvání spalin v reaktoru byla minimálně 2 sekundy, což je nejkratší možná doba nato, aby se odstranilo ze spalin SO_2 , HCl , Cl a HF . Střední objem spalin je $7,6 \text{ m}^3/\text{s}$ pro $t_{\text{stř}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$. [20]

Doba setrvání spalin se spočítá jako součet setrvání ve vnitřní komoře reaktoru o průměru 1 200 mm a délce 3 500 mm (0,7 sekundy) a dosoušejí komoře kruhového tvaru o průměru 2 000 mm a délce 3 500 mm. Celková doba setrvání spalin v reaktoru je tedy minimálně 2,8 sekundy. [20]

V případě mé navržené pračky vychází výstupní teplota spalin zhruba 150 až 200 $^\circ\text{C}$. Tuto teplotu je nutné zhodnotit a porovnat s rosným bodem. Protože rosný bod má velký a podstatný vliv na obsah síry v palivu. Zvýšení obsahu síry v palivu o jedno procento může způsobit zvýšení teploty rosného bodu o 20 až 50 $^\circ\text{C}$. Vliv síry v palivu a součinitele přebytku vzduchu na rosný bod můžeme vidět na obrázku V případě podkročení rosného bodu spalin je za potřebí doplnit technologii o přídavný hořák. [20]



Obrázek 5.2 - vliv obsahu síry v palivu a součinitele přebytku vzduchu na rosný bod [20]

6. Příprava sorbentu pro palivo a jeho množství

Příprava sorbentu je zajišťována pomocí zařízení, které se nachází mimo pračku. Příprava sorbentu zajišťuje plynulé dávkování, rozmíchávání a dopravu sorbentu do rozprašovacích trysek v reaktoru. Zařízení musí obsahovat dávkovací čerpadla, míchací a plnicí nádrže na sorbent. Objem na míchání sorbentu je 2 m³. Doporučené plnění nádrže na míchání je ¾ objemu nádrže. Zásobárna na vodu má objem 1 m³. Poměr míchání hydroxidu vápenatého s vodou (Ca(OH)₂:H₂O) je v poměru 1:4, což znamená pro pračku spalin PV 20 je hodinová spotřeba hydroxidu vápenatého 90 l a hodinová spotřeba vody 270 l. [1, 20]

7. Popis kompresoru a čerpadla

Kompresor - vzduch je potřeba stlačovat pro rozprašování sorbentu v reaktoru na tlak 0,9 MPa o množství 150 m³ za hodinu. Tuhle kompresní práci bude zajišťovat kompresorová stanice typu ORL 18,5 BX od společnosti ORLÍK COMPRESSORS (obrázek 7.1).



Obrázek 7.1 - kompresorová stanice ORL 18,5 BX [22]

Typovou řadu ORL tvoří šroubové kompresory, které jsou určený pro nepřetržitý provoz. Obsahují mikroprocesorovou jednotkou řízení typu 901 a zcela automatický systém řízení činnosti kompresoru v závislosti na množství odběru stlačeného vzduchu. Jedinečná mikroprocesorová řídicí jednotka, dovolí řízení až 3 kompresorů bez nutnosti dosazení dalších jednotek pro řízení. Jde o kompresor, který má pouze jednostupňovou

šroubovou jednotku mazanou olejem od renomovaných světových výrobců oleje. Blok elektromotoru a kompresoru jsou umístěny na rámu, který je uchycen na karoserii pomocí pružných podložek a pryžových pružin. Karoserii tvoří rám a na něm jsou umístěny odnímatelné panely. Pro umístění jednotky není třeba žádných stavebních úprav a speciálních základů v kompresorovně, stačí pouze rovná betonová základna. Obsahuje mnoho bezpečnostních a kontrolních prvků pro zajištění bezproblémového chodu. Kompresor je možné získat jako celek s tlakovou nádobou o objemu 300 l nebo 500 l, kde potřeby výroby vzduchu. Je možnost dále sem doinstalovat kondenzační sušičku s TRB +3 °C. [22]

Parametry ORL 18,5 BX jsou:

- Výkonnost: 159 m³/hod
- Rozměry (d x š x v): 1515x890x1325 mm
- Příkon elektro motoru: 18,5 kW
- Napětí: 400 V
- Max. přetlak: 10 bar
- Hmotnost: 495 kg
- Hlučnost: 71 dB (A)

Čerpadlo - vápennou suspenzi (sorbet) je potřeba dopravit do trysek v reaktoru a to v množství 360 litrů za hodinu. Dopravu sorbetu bude zajišťovat čerpadlo FAD od společnosti SIGMA PUMPY HRANICE (obrázek 7.2). Hlavním kritériem pro výběr čerpadla bylo, aby jeho regulace byla v rozmezí 0 až 500 l/h.



Obrázek 7.2 - čerpadlo typu FAD [23]

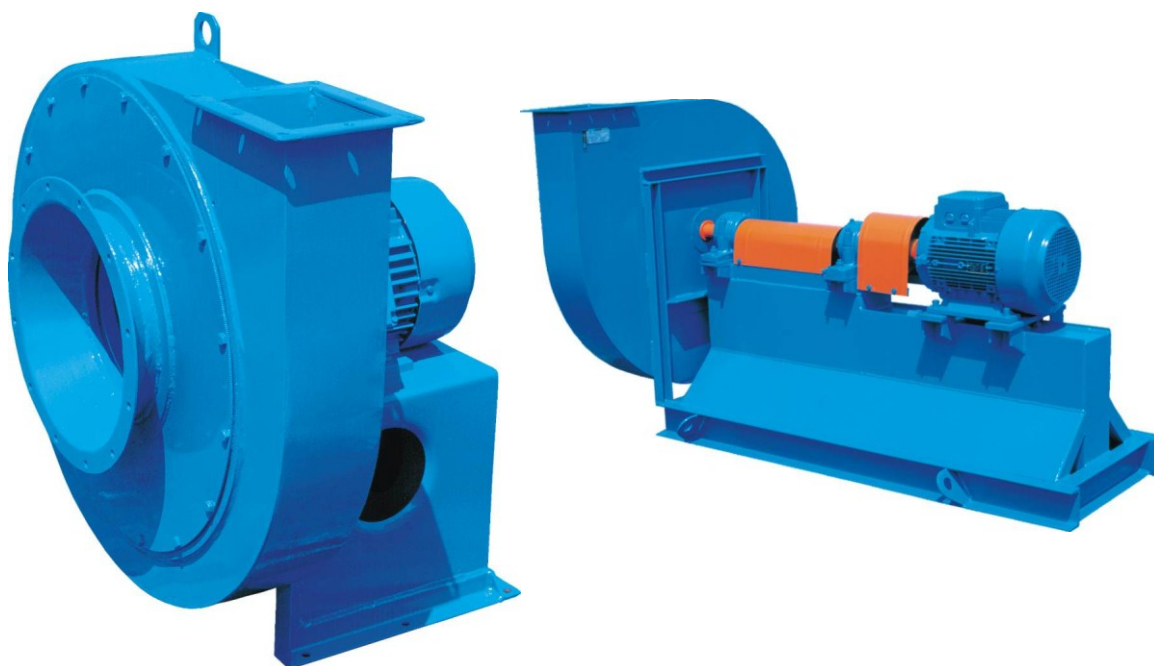
Typová řada čerpadel FAC, FAD, FAG a FAH jsou tři vřetenová čerpadla určená k tlakové dopravě čistých viskózních kapalin, pro příklad oleje, nebo také viskózní kapaliny s mazacími schopnostmi, která nekrystalizují, neobsahují mechanické příměsi, nemají korozní účinky a netuhnou. Jejich hlavní uplatnění nalezneme ve vysokotlakých hydraulických olejových systémech všech druhů, pro příklad uvedeme obráběcí stroje, lis, tvářecí stroje, regulace turbíny, turbokompresorů, papírenských a tiskařských strojů atd. Maximální teplota dopravované kapaliny může být 180 °C, kinematická viskozita čerpané kapaliny se pohybuje v rozsahu 2,5 - 1 500 mm²/s. [23]

Parametry FAD jsou:

- Průtok min.: 3,12 l/min
- Průtok max.: 966 l/min
- Tlak výška min.: 0 bar
- Tlak výška max.: 63 bar
- Výkon: 114 kW
- Teplota media max.: 180 °C

8. Spalinový ventilátor

Zajišťovat podtlak v celém zařízení bude spalinový ventilátor řady RVJ od společnosti KOVODRUŽSVO STRÁŽOV. Bude dopravovat 6 540 m³ za hodinu spalin.



Obrázek 8.1 - spalinový ventilátor typu RVJ přímý a se spojkou [25]

Ventilátory řady RJV jsou jednostranně sací, jsou radiální vysokotlaké ventilátory, které se vyrábějí ve více velikostech a to 560, 630 a 800 mm průměru oběžného kola. Pohon zde zajišťuje elektromotor, oběžné kolo může být připevněno k motoru buď to přímo, nebo přes spojku (obrázek 8.1). Na ventilátoru se v základní verzi nenachází regulátor, ale může sem umístit regulaci dle přání zákazníka. Celé oplechování je konstruováno z oceli třídy 11, kdyby byli vyšší požadavky na materiál, dá se zde využít ocel třídy 17. Nesmírnou výhodou zde považujeme, že se ventilátor může umístit přímo na rovný beton nebo pružné elementy a není třeba speciálních stavebních úprav. [25]

9. Ověření zvolené koncepce

Největší podíl na množství plynných škodlivin emitovaných do atmosféry vzniká díky spalování fosilních paliv. Vzniklé spaliny můžeme charakterizovat jako plynnou směs se znečišťujícími tuhými látkami (saze a popílek), kde jsou obsaženy zejména oxidy dusíku, oxid uhličitý a stopové prvky z popelovin. Do plynné fáze můžeme řadit škodlivé látky, které jsou kyselého charakteru, z nichž má nejzávažnější negativní vliv na životní prostředí HCl, HF, SO₂. Při ochlazování odpadního plynu těžké kovy kondenzují v potrubních trasách s výjimkou rtuť. [20]

V odsiřovacích zařízení dochází k zachycování SO₂, ale také se zde odstraňují jiné škodlivé látky kyselého charakteru jako HCl a HF. Odsiřovací procesy můžeme rozdělit dle způsobu zachytávání škodlivin na: cyklické s regenerací aktivní látky, neregenerativní jednorázové a regresivní. Mezi další dělení můžeme zařadit dle fáze zachycování škodlivin: suché, polosuché a mokré, nebo také dle použití aktivní látky či vzniklého produktu. [20]

U suché metody čištění spalin se vedou spaliny první do reaktoru, kde se smísí se suchou aktivní látkou (jemně mletý vápenný hydrát). Škodliviny kyselého charakteru (SO₂, HF a HCl) reagují na povrchu pevné částice za vzniku fluoridu, chloridu, siřičitanu a síranu vápenatého. Popílek a suchý produkt reakce je následně zachycen na tkaninovém filtru. Při této metodě vzniká velké množství tuhých emisí a požadované emisní limity jsou těžce dosažitelné. Účinnost je nízká. [20]

U mokré metody čištění jsou spaliny prvně vedeny do absorbéru, kde jsou ochlazeny a při průchodu kontaktní zónou se zachytávají plynné škodliviny absorpcí do vodní suspenze vápenného mléka. Ve spodní části reaktoru jsou seskupovány zachycené produkty reakcí. U mokré metody dosahujeme nevyšších účinností odloučení škodlivin

a také nejlepšího využití reagentu. I když je mokrá metoda neúčinnější, její rozšíření není tak markantní jak bychom čekali, protože zpracování mokrých kalů a odpadních vod je velmi náročné a vyžaduje čistírnu odpadních vod, která se dosud nenachází ve všech závodech. [20]

U polosuché metody je uspořádání zařízení stejné jako u suché metody. Aktivní surovina (vápenný hydrát) je vstřikován ve formě suspenze do proudu horkých spalin. Za vysokých teplot spalin se voda odpařuje při probíhajících chemických reakcích. Tuhý zbytek je zachytáván ve spodní části reaktoru, kde se nachází popelnice a také ve tkaninovém filtru, který je za reaktorem. Zachytávání škodlivin je závislé na jejich reakčních schopnostech, která klesá v řadě SO_3 , HCl , HF , SO_2 , také je závislá na koncentraci, teplotě procesu, aktivitě vápenné suspenze a velikosti reakčního prostoru pračky. Účinnost můžeme zvyšovat díky částečné recirkulaci. Existuje závislost mezi spotřebou sorbentu na různé výstupní teploty spalin a mezistupněm absorpce. Zachycený produkt z pračky obsahuje zhruba 70 % popílku a zbylých 30 % tvoří produkty chemických reakcí v pračce, tj. siřičitany, sírany, chloridy, fluoridy a nezreagovaný $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Materiál je jemnozrnný a suchý, díky tomu se s ním dobře manipuluje jako s obyčejným popílkem. Můžeme ho tedy dále využívat např. ve stavebnictví, cementářství anebo jako agloporit do betonu. [20]

Jako přednost taky bereme, že polosuchá metoda čištění spalin je investičně menší jako ostatní metody. Mezi další výhody by se mohlo uvést nižší provozní náklady, nižší spotřeba energie a vody, jednodušší konstrukce celého zařízení, menší nároky na počet personálu a údržbu. Metoda má také nevýhody a to jsou zvýšená spotřeba sorbentu a zvýšení zatížení odlučovacího zařízení. [20]

10. Legislativa a emisní limity v České republice

Po roce 1990 v České republice prošla legislativa ochrany ovzduší významnými změnami. Změny probíhaly převážně v přibližování obsahu zákona o ochraně ovzduší, z něj vycházejí emisní a imisní normy legislativy Evropské unie. Základním kamenem zákona je zákon o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami č. 309/1991 Sb. a jeho novela z roku 1992, která stanovila zásady ochrany venkovního ovzduší před emisemi znečišťujících látek, což se přímo promítá do kvality ovzduší. V roce 2002 byl poslaneckou sněmovnou parlamentu České republiky schválen nový zákon o ochraně ovzduší č.86/2002 Sb. Zákon je tvořen doplňky prováděný vyhláškami a směrnici. Tímto krokem se proces sblížení legislativy ČR a EU prakticky vyřešil. Zákon zavedl povinnosti pro investory, projektanty a provozovatele zdrojů znečištění ovzduší s ohledem na jejich velikost, chemické složení a množství emitovaných škodlivin. Mezi největší novinky v roce 1991, kdy byl uzákoněn zákon č. 309/1991 Sb. v České legislativě byl postupný náběh plateb za znečišťování ovzduší. Stoprocentní platby za vypuštěné emise byly zavedeny až po pěti letech od zavedení zákona. Tímto krokem bylo provozovatelům umožněno investovat do zařízení, které snižovaly vypouštěné emise a tím dosáhnout vypouštěných předepsaných hodnot. [24]

V České republice je nyní platný zákon na ochranu ovzduší č. 201/2012 Sb., který pozměňuje a rozšiřuje zákon 483/2008 Sb. Zákon se zabývá především předcházení znečištění ovzduší a snižování úrovně znečištění, tak aby byla zmírněna rizika pro lidské zdraví. Přidává do zákona příslušné předpisy Evropské unie. Pro příklad nástroje pro snižování znečišťování ovzduší, přípustné úrovně znečištění, více v samotném zákoně. [24]

10.1 Emisní limity pro spalovny průmyslových odpadů

Emisní limit je maximální množství znečišťujících látek, které může dané spalovací zařízení vypouštět do ovzduší. Znečišťující látky se mohou rozdělit podle skupenství na tuhé, kapalné a plynné. Dále bychom je mohli rozdělit na přímo škodlivé nebo nepřímo škodlivé, kdy přímo škodlivé jsou látky takové, že škodí lidem a přírodě v takové formě jak vycházejí z komína a nepřímo škodlivé jsou takové, kdy látka v ovzduší reaguje s určitou látkou a tím dochází k její přeměně na zdraví škodlivou látku. Specifické emisní limity pro spalovny jsou stanoveny v nařízení vlády č. 354/2002 Sb. Množství vypouštěných emisí (znečišťujících látek) musí být vyjadřováno a srovnáváno za stejných podmínek. Těmito podmínkami jsou stanoveny normální (standardní) podmínky

tj. teplota 273,15 kelvinu a tlak 101 325 Pa. Znečišťující látky se mohou měřit dvěma způsoby a to buď kontinuálně, nebo jednorázově periodicky. Způsoby měření množství vypouštěných znečišťujících látek, zjišťování intenzity pachu a přípustné míry obtěžování zápachem, tmavosti kouře, metody a technické prostředky pro měření emisí jsou stanoveny Vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb. [24]

10.2 Kontinuální měření

Kontinuální měřením se zjišťuje hmotnostní koncentraci tuhých látek, oxidů dusíku, oxidu siřičitého, oxidu uhelnatého, celkového organického uhlíku, anorganických sloučenin chloru v plynné fázi vyjádřených jako chlorovodík a anorganických sloučenin fluoru v plynné fázi vyjádřených jako fluorovodík. Pomocí kontinuálního měření se také provádí měření provozních parametrů procesu, teploty spalin v blízkosti vnitřní stěny, koncentrace kyslíku, tlaku, teploty a vlhkosti v odváděném vyčištěném odpadním plynu. Konkrétní emisní limity pro spalovny nalezneme v přílohách Emisní limity pro oxid uhelnatý (CO), kdy se nesmí překročit denní průměr 50 mg/m³ ve spalinách, 150 mg/m³ u minimálně 95 % všech stanovení průměrné desetiminutové hodnoty nebo 100 mg/m³ u všech stanovení průměrné půlhodinové střední hodnoty provedených během každého období 24 hodin. Obsah HF se nemusí kontinuálně měřit, pokud zařízení na čištění HCl funguje ve své plné účinnosti, tak emisní limit pro HF nebude překročen. Jakmile koncentrace HF v odpadním plynu nepřekračuje 50 % hodnoty emisního limitu, HF se měří jednorázově. Kontinuální měření látek SO₂, HCl a HF se může nahradit periodickým měřením se souhlasem kompetentního úřadu, pokud provozovatel prokáže, že dokáže dodržovat emisní limity. [24]

10.3 Jednorázová měření

Jednorázová měření se provádějí při měření hmotnostních koncentrací těžkých kovů, které se nacházejí v spalinách v tuhém, kapalném a plynném stavu. Dále se měří dioxiny, furany a to nejméně dvakrát ročně, v intervalech kratší než 3 měsíce. [24]

Emisní limit pro PCDD a PCDF pokud se přepočte na ekvivalent toxicity (TEQ), průměrná hodnota součtového obsahu PCDD a PCDF naměřená ve vzorku za dané období to je minimálně 6 hodin a maximálně 8 hodin ve výši 0,1 mg/m³. [24]

11. Závěr

Zadání mé bakalářské práce je návrh polosuché metody čištění spalin u spalovny průmyslových odpadů. Úkolem jsem měl vypracovat technologickou studii na zařízení na čištění spalin ze spalovny průmyslových odpadů. Dalšími úkoly bylo provést základní tepelné výpočty, vytvořit výkresovou dokumentaci, která obsahuje reaktor polosuché vypírky spalin a technologické schéma celého zařízení.

Spaliny jsou bez jakékoliv úpravy vedeny do tepelného výměníku, kde se ochladí na provozní teplotu reaktoru tj. 250 °C. Pračka je dvoustupňového uspořádání (díky tomu zvládá velké hmotnosti toky spalin) a je založena na polosuché metodě čištění spalin, která spočívá v rozprašování sorbentu (vápenného mléka) do proudu spalin. Dvoustupňové uspořádání má vysokou účinnost při zachytávání škodlivin (až 95% v závislosti na složení spalin) a to jak při odlučování sloučenin síry, fluoru, chloru a těžkých kovů. Výhody polosuché metody čištění oproti mokré metodě čištění jsou především v její jednoduchosti konstrukce a v realizaci, jako další výhoda polosuché metody je nevznikající odpadní voda. Pro dokonalé rozprášení se zde použily tři trysky, které za pomoci stlačeného vzduchu o tlaku 0,9 MPa dokonale rozpráší kapky sorbentu do spalin. Po rozprášení se kapky smíchají se spalinami a dojde k vypaření kapek a škodlivin, které se navázaly na kapky.

Rozměry pračky spalin jsou provedeny tak, aby se zamezilo tvorbě nánosů prachu na stěnách pračky a bylo zajištěno úplné vypaření sorbentu. Úplné vypaření sorbentu závisí především na době setrvání spalin v pračce a to je dále závislé na množství vstupujících spalin do pračky. Mezi další důležité hodnoty sem patří teplota spalin na výstupu z pračky vzhledem k rosnému bodu. V případě podkročení teploty rosného bodu se spaliny přehřívají hořákem za pračkou.

Sorbent je připravován v míchací nádrži a dopravován do trysek za pomoci čerpadla FAD. Objem nádrže na míchání je 2 m³, maximální plnění nádrže je doporučeno ¾ objemu nádrže. Poměr míchání Ca(OH)₂ s vodou je 1:4, spotřeba hydroxidu vápenatého na hodinu provozu je 90 l, hodinová spotřeba vody je 270 l. Pro snížení spotřeby Ca(OH)₂ a tím snížení nákladů na provoz se při přípravě nového sorbentu používá recirkulovaná směs ne zcela zreagovaného sorbentu a popílku, který je zachycen spolu se sorbentem. Účinnost sorbentu se dá zvýšit přidáním malého množství slabých organických kyselin nebo hořečnatých solí.

Stlačený vzduch zajišťuje kompresorová stanice ORL 18,5 BX. Potřebný vzduch musí být dopravován o tlaku 0,9 MPa a v množství 150 m³ za hodinu.

Proud spalin dále pokračuje spolu se sorbentem a popílkem do tkaninového filtru. Čištěné spaliny se přivádějí do výsypky filtru pomocí vstupního potrubí. Ve výsypce se proud spalin rozděluje do dvou filtračních komor. Zde spaliny procházejí tkaninovými filtry, ve kterých se zachycují pevné částice. Vyčištěné spaliny proudí vnitřní stranou rukávů filtru, přes antivibrační vložky, regenerační panely a regenerační ventily do výstupního potrubí. Pomocí měření odporu se zjišťuje jak moc je zanesený tkaninový filtr popílkem. Filtrační rukávy se čistí za pomoci rázů při vytvoření rázové vlny. Popílek padá z rukávu do popelnic, které se nacházejí spodní částí.

Po průchodu tkaninovými filtry je za potřebí dosáhnout podtlaku za pomoci spalinového ventilátoru. Spaliny dále postupují do komína. Správnost a účinnost chodu celého zařízení je závislé na sledování a regulaci vstupních a výstupních teplot spalin v jednotlivých částech, hmotnostních tocích spalin a udržování podtlaku v celém zařízení.

12. Seznam použité literatury

- [1] OBROUČKA, Karel. *Termické zneškodňování odpadů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1997, 140 s. ISBN 80-707-8505-5.
- [2] *Spalovny odpadu: odpad jako palivo* [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-odpadu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- [3] *Potřebujeme spalovny průmyslových odpadů?: sborník příspěvků*. Praha: Nadace REVIA, 1995.
- [4] *Jak to chodí ve spalovně* [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.evokomorany.cz/index.php/technologie/jak-to-chodi-ve-spalovne>
- [5] *Odpady z průmyslu* [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady_z_prumyslu&site=odpady
- [6] *Spaliny* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://spalovaci-procesy.wz.cz/Spaliny.html>
- [7] *Ekologie* [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/ekouvod.htm>
- [8] OBROUČKA, Karel. *Ochrana ovzduší I.: (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola podnikání, 2003, 81 s. ISBN 80-867-6400-1.
- [9] *PCDD+PCDF* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/81>
- [10] Emise oxidů dusíku u spalovacích procesů a možnosti jejich snižování: [sborník. Vyd. 1. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1990, 50 s. ISBN 80-020-0117-6.
- [11] RÉDR, Miroslav a Miroslav PŘÍHODA. *Základy tepelné techniky: celost. vysokošk. učebnice pro hutnické fakulty*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0.
- [12] KUBÍČEK, JAN. *MODERNÍ METODY MOKRÉHO ČIŠTĚNÍ SPALIN*. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce ING. RADEK DVOŘÁK, PH.D.
- [13] *Ochrana ovzduší* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~lih90/_soubory/oo/05-01.pdf
- [14] *Digitální učební materiál: Odlučovače popílků* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.isstechn.cz/objekty/vy-32--inovace-d-2-09.pdf>
- [15] NAVRÁTIL, ONDŘEJ. *ANALÝZA PŘEDČIŠTĚNÍ PRACOVNÍ LÁTKY PRO ÚČELY VÝMĚNY TEPLA*. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT BRNO. Vedoucí práce Doc. Ing. ZDENĚK JEGLA, Ph.D.
- [16] *TECHNOLOGIE PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY A ODPADŮ* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://partnerstvi-energetiky.msek.cz/wp-content/uploads/zaverecne-zpravy/vut-brno/krnavek.pdf>

[17] VOTAVA, Miroslav. Malé spalovny průmyslového odpadu s využitím tepla. *ČKD DUKLA*. 1994, **94**(8).

[18] *Odsiřování* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Ochrana%20ovzduši/Odsirovani.pdf>

[19] VOČADLO, M. a prom. CHEM. *Odsiřování spalín a čistota ovzduší*. Praha, 1976.

[20] VŠB - TUO, Strojní fakulta, Katedra energetiky, POSUDEK na pračku spalín PV 20, PV 40, PV 60, PV 80 od firmy JUNO-Eco s.r.o., Prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc. vedoucí katedry energetiky VŠB - TUO Tř. 17. listopadu, 708 33 Ostrava, V Ostravě dne 15. 6.1999

[21] RÉDR, Miroslav a Miroslav PŘÍHODA. Základy tepelné techniky: celost. vysokošk. učebnice pro hutnické fakulty. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0.

[22] *ORLÍK COMPRESSORS: Typová řada ORL* [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.orlik.cz/Portfolio/Detail.aspx?CategoryRecID=16&RecID=33>

[23] Čerpadla: Průmyslová čerpadla [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.sigmampumpy.com/>

[24] Legislativa ČR [online]. [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/>

[25] *Ventilátory: Spalinové ventilátory* [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.kovostrazov.cz/ventilatory.html>

13. Seznam obrázků a tabulek

13.1 Seznam obrázků

OBRÁZEK 3.1 – VZHLED SPALOVNY Z VNĚJŠKU	2
OBRÁZEK 3.2 – SCHÉMA SPALOVNY	3
OBRÁZEK 3.3 – GRAF ZOBRAZUJÍCÍ PODÍL JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ PRŮMYSLOVÉHO ODPADU	4
OBRÁZEK 3.4 - GRAF EMISÍ NO _x	10
OBRÁZEK 3.5 - GRAF EMISÍ CO	11
OBRÁZEK 3.6 - GRAF UKAZUJÍCÍ DRUHY	12
OBRÁZEK 4.1 - CYKLONOVÝ ODLUČOVAČ.....	13
OBRÁZEK 4.2 - ELEKTROSTATICKÝ ODLUČOVAČ	14
OBRÁZEK 4.3 - VENTURIHO PRAČKA.....	15
OBRÁZEK 4.4 - SCHÉMA SYSTÉMU REMEDIA.....	16
OBRÁZEK 4.5 - SCHÉMA TŘÍ VARIANT REALIZACE POLOSUCHÉ METODY	19
OBRÁZEK 4.6 - ROZPRAŠOVACÍ SUŠÁRNA.....	20

OBRÁZEK 5.1 - DVOUSTUPŇOVÁ PRAČKA SPALIN TYPU PV 20	21
OBRÁZEK 5.2 - VLIV OBSAHU SÍRY V PALIVU A SOUČiniteLE PŘEBYTKU VZDUCHU NA ROSNÝ BOD	31
OBRÁZEK 7.1 - KOMPRESOROVÁ STANICE ORL 18,5 BX	32
OBRÁZEK 7.2 - ČERPADLO TYPU FAD	33
OBRÁZEK 8.1 - SPALINOVÝ VENTILÁTOR TYPU RVJ PŘÍMÝ A SE SPOJKOU.....	34

13.2 Seznam tabulek

TABULKA 3.1 - PRŮMYSLOVÉ HOŘLAVÉ ODPADY A CHARAKTERISTIKY	5
TABULKA 5.1 - SOUHRN TECHNICKÝCH ÚDAJŮ PRAČKY SPALIN TYPU PV	22
TABULKA 5.2 - HLAVNÍ ČÁSTI PRAČKY SPALIN.....	23
TABULKA 5.3 - ZADANÉ HODNOTY SPALOVNY	25
TABULKA 5.4 - PRO VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO PRŮMĚRU MODELOVÉ KAPKY ...	28
TABULKA 5.5 - STŘEDNÍ RYCHLOSTI A DÍLČÍ DRÁHY V JEDNOTLIVÝCH ČASOVÝCH KROCÍCH.....	30

14. Seznam příloh

Výkres č. 1 - schéma zařízení

Výkres č. 2 - pračka spalin PV 20